

## (12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
2. Oktober 2003 (02.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/081130 A1(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F23C 11/00,  
F23G 5/00, F02M 27/04, F23B 7/00[DE/DE]; Kermisdahlstrasse 40, 47533 Kleve (DE).  
HUNCK, Wolfgang, Heinrich [DE/DE]; Schwerinstrasse  
14, 40477 Düsseldorf (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/02976

(74) Anwalt: CHARLES, Glyndwr; Reinhard Skuhra Weise  
& Partner GbR, Friedrichstrasse 31, 80801 München (DE).(22) Internationales Anmeldedatum:  
21. März 2003 (21.03.2003)(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,  
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,  
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,  
MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO,  
RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,  
UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),  
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(30) Angaben zur Priorität:  
102 12 995.9 22. März 2002 (22.03.2002) DE(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): PYROPLASMA KG [DE/DE]; Stockholmer Allee  
32a, 44269 Dortmund (DE).

(72) Erfinder; und

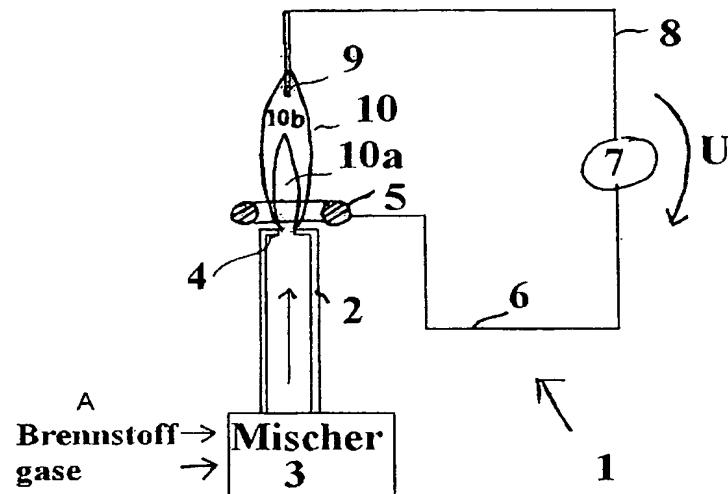
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HEILIGERS, Rolf

(54) Title: FUEL COMBUSTION DEVICE

(54) Bezeichnung: BRENNSTOFFVERBRENNUNGSVORRICHTUNG



WO 03/081130 A1



3... MIXER

A... FUEL GASES

(57) Abstract: The invention relates to a fuel combustion device (1) for the combustion of fuels in an exothermic chemical reaction, comprising a device (2) for supplying the fuels, a combustion chamber for combustion of the supplied fuels in a flame (10) and at least two electrodes (5, 9) through which an electrical field (E) is applied to the flame (10) with the purpose of producing a reaction plasma in said flame (10), wherein the reaction plasma produced has a high degree of ionization.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

---

**(57) Zusammenfassung:** Brennstoffverbrennungsvorrichtung (1) zur Verbrennung von Brennstoffen in einer exothermen chemischen Reaktion mit einer Einrichtung (2) zum Zuführen der Brennstoffe, einem Verbrennungsraum zur Verbrennung der zugeführten Brennstoffe in einer Flamme (10) und mit mindestens zwei Elektroden (5, 9), durch die ein elektrisches Feld (E) an die Flamme (10) zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas in der Flamme (10) angelegt wird, wobei das erzeugte Reaktionsplasma einen hohen Ionisationsgrad aufweist.

1  
Beschreibung

## Brennstoffverbrennungsvorrichtung

5 Die Erfindung betrifft eine Brennstoffverbrennungsvorrichtung zur Verbrennung von Brennstoffen in einer exothermen chemischen Reaktion.

Die Verbrennung ist eine chemische Reaktion (Oxidation) von 10 Brennstoffen mit Sauerstoff der Luft unter Freisetzung von Wärme. Kohlenwasserstoffe reagieren zu Kohlendioxid  $\text{CO}_2$  und Wasserdampf  $\text{H}_2\text{O}$ . Die Verbrennung von festen Brennstoffen wird durch Erhitzen auf Entzündungstemperatur eingeleitet während die Verbrennung bei flüssigen Brennstoffen über Zwischenvergasung durch die momentane Überschreitung der Zündgrenze mittels eines Zündfunken hervorgerufen wird. Bei gasförmigen Brennstoffen wird durch momentane Überschreitung der Zündgrenze die Verbrennung mittels eines Zündfunken induziert. Bei der Verbrennung entstehen Abgase. Aus der Zusammensetzung 20 der Abgase kann man die Güte der Verbrennung beurteilen. Eine Verbrennung ist im herkömmlichen Sinne eine plasmatisch anmutende exotherme Redoxreaktion, die unter Abgabe elektromagnetischer Strahlung, wie Licht- und Wärmestrahlung vonstatten geht. Unter Oxidation versteht man in der Chemie einen chemischen Vorgang bei dem ein Teilchen Elektronen abgibt. Die abgegebenen Elektronen werden von anderen Teilchen, beispielsweise von Sauerstoff- und Chloratomen aufgenommen. Dieser Vorgang wird als Reduktion bezeichnet. Jeder Oxidationsvorgang ist mit einem Reduktionsvorgang gekoppelt. Die Reaktionen, denen ein derartiger Elektronenübergang zu Grunde liegt, 25 nennt man Redoxreaktionen. Bei allen chemischen Reaktionen ist Energie beteiligt. Energiereichere Systeme gehen unter Freisetzung von Energie in energieärmere Systeme über. Umgekehrt werden energieärmere Systeme unter Energieaufwand in energiereichere Systeme überführt. Wird bei einer Reaktion 30 Wärmeenergie frei, so spricht man von einer exothermen Reaktion. Wird umgekehrt Energie aufgenommen, so liegt eine endo-

therme Reaktion vor. Während manche Stoffe, beispielsweise Holzkohle beim Verbrennen nur glühen, bilden andere Brennstoffe, wie beispielsweise Holz, Benzin oder Gas eine Flamme.

5 Eine Kerzenflamme zeigt drei Helligkeitszonen. Die Flamme enthält innen einen dunklen Kern, der von einem gelbleuchtenden Mantel umgeben ist. Der gelbleuchtende Mantel wird in der Regel von einem bläulichen Flammensaum umschlossen. Der relativ kühle Kern enthält die unverbrannten Dämpfe des festen 10 Stoffes. Als Dampf bezeichnet man allgemein die Gasphase eines Stoffes, der bei Zimmertemperatur fest oder flüssig ist. Im Flammenmantel zersetzen sich diese Dämpfe in brennende Gase und feine Kohlenstoffteilchen, die in helle Glut geraten und Licht aussenden. Diese Kohlenstoffteilchen verbrennen 15 erst bei ungehinderten Luftzutritt am äußersten Flammensaum. Der Flammensaum bildet den heißesten Teil der Flamme. Eine Flamme ist somit ein brennender Gasstrom, wobei das Leuchten der Flamme durch glühende Feststoffteilchen hervorgerufen wird. Durch Flammen verbrennen daher alle brennbaren Gase sowie solche Flüssigkeiten und Feststoffe, die oberhalb der 20 Entzündungstemperatur brennbare Dämpfe bzw. gasförmige Zersetzungprodukte entwickeln. Flammen weisen an dem Flammenmantel einen anderen elektrischen Widerstand auf als das umgebende Gas. Der Flammenmantel ist in der Lage elektrische 25 Ladungen zu transportieren. Bei einer herkömmlichen Flamme handelt es sich um eine thermische Ionisationserscheinung, die aus der Braunschen Molekularbewegung ableitbar ist.

30 Die Fähigkeit von Flammen elektrische Ladungen zu transportieren wird bei den sogenannten Flammenionisationsdetektoren (FID) zur Flammenüberwachung ausgenutzt. Die Ionisationsflammenüberwachung beruht auf dem Effekt, dass die heißen Flammengase elektrisch geladene Atome oder Moleküle bzw. Ionen 35 enthalten, die einen elektrischen Strom leiten.

35

Figur 1 zeigt einen Flammenionisationsdetektor (FID) nach

dem Stand der Technik. Der Flammenionisationsdetektor (FID) weist eine Ringelektrode R und eine Spitzenelektrode S auf. Die aus dem Flammenkern K und dem Flammenmantel M bestehende Flamme wird mit Brennstoff versorgt. Zwischen der Ringelektrode R, die den Flammenkern K umschließt, und der Spitzenelektrode S wird durch ein elektrisches Wechselfeld aufgebaut, indem durch eine Spannungsquelle eine Wechselspannung zwischen den beiden Elektroden angelegt wird. Durch Anlegen der Wechselspannung an die in die Flamme eingetauchte Spitzenelektrode S wird ein Strom durch eine Strommessseinrichtung messbar. Der gemessene Strom ist trotz der angelegten Wechselspannung kein Wechselstrom, sondern ein Gleichstrom. Mit dem Strommesser kann festgestellt werden, ob eine Flamme brennt. Aufgrund des Gleichrichtereffektes der Flamme kann auch bei Elektrodenkurzschluss nicht irrtümlich das Vorhandensein einer Flamme festgestellt werden. Flammenionisationsdetektoren FID können auch zur Konzentrationsmessung von Kohlenwasserstoffen in der Abluft und Raumluft eingesetzt werden. Dabei wird als Messeffekt die Ionisation organisch gebundener Kohlenstoffatome in einer Wasserstoffflamme ausgenutzt. Der bei dem elektrischen Feld auftretende Ionenstrom wird elektrisch verstärkt und angezeigt. Der Ionenstrom ist proportional zu der Zahl der in der Luftprobe vorhandenen organisch gebundenen Kohlenstoffatome. Man erhält so die Konzentration für das Gesamtkohlenstoff in PPM. Die Nachweisgrenze liegt dabei bei 0,1 - 0,2 PPM.

Figur 2a zeigt einen Plasma-Jet-Reaktor nach dem Stand der Technik. Bei dem dargestellten Reaktor strömt ein Gasgemisch aus N<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> über ein Rohr ein und gelangt in ein Mikrowellenfeld. Ein Generator erzeugt Mikrowellen, die in einen Hohlleiter einspeist und am anderen Ende des Hohlleiters reflektiert werden. Es kommt dabei zu einer Überlagerung der einlaufenden und auslaufenden Welle. Der Plasma-Jet-Reaktor dient als Abgaskatalysator. Aufgrund der Verweilzeit des durchströmenden Gasgemisches aus O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> in dem Überlagerungsfeld der Mikrowellen bilden sich ein thermisches Plasma

mit Spitzentemperaturen von bis zu 10.000 Kelvin aus. Wird die Mikrowelle dabei gepulst so entsteht ein kaltes Plasma mit einer Temperatur von 1.000-2.000 Kelvin. Durch das in die Reaktionskammer eingeführte Plasma wird die Konzentration der 5 in dem Abgas enthaltenen Schadstoffe gesenkt.

Unter Plasma versteht man allgemein ein ionisiertes Gas bzw. Gasgemisch. Führt man diesen Gasen kontinuierlich Energie zu, beispielsweise in Form von elektrischen Strom, so gehen sie 10 in einen Zustand über, in dem neutrale Gasmoleküle angeregt und bei weiterer Energiezufuhr häufig positiv geladene Ionen und negativ geladene Elektronen entstehen. Dieses Gemisch aus neutralen, positiv und negativ geladenen Partikeln bezeichnet man als Plasma.

15

Eine weitere Möglichkeit die Konzentration von Schadstoffen zu verringern besteht darin, ein leichtionisierbares Edelgas, wie beispielsweise Argon, als Trägergas durch ein elektrisches Feld mittels Mikrowellen in Plasma umzuwandeln.

20

Figur 2b zeigt eine Anordnung nach dem Stand der Technik zur Beseitigung von Schadstoffen. Ein Mikrowellengenerator erzeugt ein elektromagnetisches Feld. Die erzeugten Mikrowellen werden an einem Reflektor reflektiert und erzeugen ein Plasma, das über eine Öffnung auf den zu beseitigenden Schadstoff trifft. Bei dem Schadstoff handelt es sich beispielsweise um Dioxin. Hierdurch wird die Braunsche Molekularbewegung der Dioxinmoleküle stark erhöht. Das Argonplasma führt zu einer Beseitigung der Dioxinmoleküle aufgrund der hohen Temperatur 25 in einer chemischen Reaktion. Ein Nachteil der in Figur 2b dargestellten Anordnung besteht darin, dass der Generator zur Erzeugung der Mikrowelle einen sehr hohen Energieverbrauch hat, wobei er typischerweise eine Leistung von 1-10 kW benötigt. Bei der in Figur 2b dargestellten Anordnung wird zu 30 nächst ein Plasma generiert und anschließend in einer getrennten Reaktionskammer das generierte Plasma mit den zu beseitigenden Schadstoff in Kontakt gebracht. Die Abbrandflamme 35

und das durch den Reflektor gebildete Plasmafeld sind lokal von einander getrennt. Der Wirkungsgrad der in der Figur 2b dargestellten Anordnung zur Beseitigung von Schadstoffen ist aufgrund des hohen Energiebedarfs sehr klein.

5

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Brennstoffverbrennungsvorrichtung zur Verbrennung von Brennstoffen zu schaffen, bei der der Anteil der von der Verbrennung entstehenden Schadstoffe mit geringem Energieaufwand minimiert wird.

10

Die erfindungsgemäße Lösung der Aufgabe besteht darin, eine potentialdifferenzbildende Wechselspannung zu erzeugen, d.h. ein Spannungsfeld in einer Flamme, dessen Spannungsform eine Ladung von Kathode zur Anode fließen lässt, beispielsweise eine gepulste Gleichspannung oder eine gleichspannungsüberlagerte Wechselspannung. Eine reine Wechselspannung ist nicht funktionsfähig und eine reine Gleichspannung ist nur unzureichend funktionsfähig die erfindungsgemäße Aufgabe zufriedenstellend zu lösen.

20

Die Flamme bildet mit der potentialdifferenzbildenden Wechselspannung ein Dispersionsspektrum mit einem Flammwiderstand aus, der über den Frequenzbereich variiert.

25

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Brennstoffverbrennungsvorrichtung bei dem im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst.

30

Die Erfindung schafft eine Brennstoffverbrennungsvorrichtung zur Verbrennung von Brennstoffen in einer exothermen chemischen Reaktion mit einer Einrichtung zum Zuführen der Brennstoffe, einen Verbrennungsraum zur Verbrennung der zugeführten Brennstoffe in einer Flamme, und mit mindestens zwei Elektroden durch die eine elektrisches Feld an die Flamme zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas

35

in der Flamme angelegt wird, wobei das erzeugte Reaktionsplasma einen hohen Ionisationsgrad aufweist.

Bei der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung wird der Flamme ein elektrisches Feld überlagert. Das elektrische Feld erzeugt dabei ein Reaktionsplasma innerhalb der Flamme. Durch dieses Reaktionsplasma wird der zugeführte Brennstoff effizient verbrannt, so dass die Konzentrationen der bei der Verbrennung entstehenden Schadstoffe minimal sind.

Die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung zeichnet sich durch einen Energieverbrauch aus, der unter 100 Watt bei einem 10KW Brenner liegt, d.h. der elektrische Energieeintrag liegt bei lediglich 0,1 % des gesamten chemischen Energieeintrags.

Der zugeführten Brennstoffe werden nahezu 100 %ig verbrannt, wobei unerwünschte Nebenprodukte im Abgas, wie beispielsweise Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) nur in sehr geringen Konzentrationen abgegeben werden.

Bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen als Brennstoff wird mittels der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung der Anteil der unverbrannten Kohlenwasserstoffe, die ebenfalls Schadstoffe darstellen, im Abgas ebenfalls auf einen Anteil von nahezu Null abgesenkt.

Durch die Bildung eines Reaktionsplasmas innerhalb der Flamme wird die Energieausbeute im Vergleich zu herkömmlichen Verbrennungseinrichtungen deutlich gesteigert. Die umweltschädlichen Giftstoffe, wie beispielsweise Dioxine und Furane, werden durch die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung fast vollständig beseitigt.

35

Durch das in der Flamme hervorgerufene Reaktionsplasma werden die Reaktionsgeschwindigkeiten innerhalb der Flamme gesteigert.

gert und somit die Verbrennungstemperaturen. Die bei der aus-  
geführten Verbrennungsreaktion gewonnene Energie, die soge-  
nannte Reaktionsenthalpie, hängt davon ab, wie hoch die Reak-  
tionsgeschwindigkeit ist. Mit der Brennstoffverbrennungsvor-  
richtung werden beispielsweise Kohlenwasserstoff-Moleküle  
(C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) als Brennstoff zugeführt. Die durch die Brennstoffvor-  
richtung erzeugte Energie ist umso größer je mehr Kohlenwas-  
serstoff-Moleküle pro Zeiteinheit mit Sauerstoff (O<sub>2</sub>) reagie-  
ren. Durch die Erzeugung des Plasmas wird die Verbrennungs-  
temperatur und somit die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht.  
Hierdurch wird aber nicht die Energieausbeute bedeutend ge-  
steigert, denn der Energiezugewinn der Verbrennung ist nur  
der Wärmeinhalt der durch den Effekt restoxidierbarer  
Verbrennungsgase. Die Schadstoffbelastung wird durch die er-  
findungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung stark abge-  
senkt. Je nach Brennstoff kann durch die erfindungsgemäße  
Brennstoffverbrennungsvorrichtung die Energieausbeute um 1-3  
% gesteigert werden.

20 Die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung weist  
im Wesentlichen folgende Vorteile auf:

Die Energieausbeute wird im Vergleich zu herkömmlichen Brenn-  
stoffverbrennungsvorrichtungen gesteigert;

25 Der Anteil von Schadstoffen in den abgegebenen Abgasen wird  
minimiert. Bei diesen Schadstoffen kann es sich beispielswei-  
se um Stickstoffoxide oder unverbrannte Kohlenwasserstoffe  
handeln.

30 Bauteile der Brennstoffverbrennungsvorrichtung können bei  
gleicher Leistung kleiner dimensioniert werden.

35 Zusätzlich kann die Geräuschemission um etwa 10 Dezibel abge-  
senkt werden.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung besteht darin, dass die Form der Flamme durch das angelegte elektrische Feld beeinflussbar ist. Hierdurch kann erreicht werden, dass die erzeugte Verbrennungsflamme den ganzen Verbrennungsraum ausfüllt oder alternativ bestimzte Raumabschnitte des Verbrennungsraums durch die Flamme erreicht werden.

Die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung kann in allen Geräten eingesetzt werden bei denen ein offenes Feuer bzw. eine offene Flamme vorkommt. Dies sind insbesondere:

- Anlagen zur Erzeugung von Dampf- und Prozesswärme in der Industrie;
- Heizungen;
- Gasturbinen;
- Müllverbrennungsanlagen;
- Düsentriebwerke;
- Hochtemperaturöfen;
- Verbrennungsmotoren.

Der Kern der Erfindung besteht darin, dass an die Verbrennungsflamme ein elektrisches Feld zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas in der Flamme angelegt wird. Dabei wird das elektrische Feld mittels mindestens zweier Elektroden an die Flamme angelegt.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung sind die Elektroden mit einem Spannungsgenerator verbunden.

Der Spannungsgenerator erzeugt dabei vorzugsweise eine Wechselspannung.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist ein Transistor zur Hochtransformation der durch den Spannungsgenerator erzeugten Wechselspannung vorgesehen, wobei eine Ladungsver-

schiebung im statistischen Mittel nur in eine Ladungstransportrichtung hin erfolgt.

Die angelegte Wechselspannung kann unterschiedliche Signal-  
5 formen aufweisen.

Bei einer ersten Ausführungsform ist die erzeugte Wechsel-  
spannung nahezu sinusförmig, wobei die positiven Halbwellen  
eine größere Amplitude aufweisen als die negativen Halbwellen  
10 oder umgekehrt.

Bei einer alternativen Ausführungsform ist die erzeugte Wech-  
selspannung pulsförmig, wobei ebenfalls eine Halbwellenabwei-  
chung in der Fläche der Spannungsfunktion zwischen der posi-  
15 tiven und den negativen Halbfunktion besteht.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform erzeugt der Spannungs-  
generator neben der Wechselspannung zusätzlich eine Gleich-  
spannung. Dabei kann es bei der Wechselspannung um eine reine  
20 Sinuswechselspannung handeln.

In diesem Fall wird an dem Verbrennungsraum neben dem elekt-  
rischen Wechselfeld zusätzlich ein elektrisches Gleichfeld  
überlagert.

25 Die Feldstärke des an die Flamme angelegten elektrischen Fel-  
des beträgt vorzugsweise zwischen 0,1 und 10 kV/cm.

Zu einer bevorzugten Ausführungsform liegt die Frequenz des  
30 an die Flamme angelegten elektrischen Feldes zwischen 50 Hz  
und 2 GHz.

Der Verbrennungsraum kann offen oder geschlossen sein.

35 In dem Verbrennungsraum kann sich auch ein Verbrennungsmedium  
befinden, in dem die Flamme ausgebildet wird, beispielsweise  
ein Katalytbrennerkörper oder ein Porenbrennerkörper.

Bei einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung ist der Verbrennungsraum ein offener Raum.

5

Bei einer alternativen Ausführungsform ist der Verbrennungsraum eine geschlossene Brennkammer.

Bei dem zugeführten Brennstoff kann es sich im Prinzip um einen beliebigen Brennstoff handeln.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem zugeführten Brennstoff um ein Gasgemisch.

15 Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das zugeführte Brennstoffgasgemisch ein Kohlenwasserstoffgemisch.

An die Flamme wird über mindestens zwei Elektroden ein elektrisches Feld zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas angelegt.

20

An die Flamme wird über mindestens zwei Elektroden, zwischen denen bei einer möglichen Ausführungsform mindestens eine Gitterelektrode zur Schwingungsbeeinflussung liegt, ein elektrisches Feld zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas angelegt.

25

Durch die beiden Elektroden wird ein elektrisches Gleichfeld durch die Gitterelektroden wird ein elektrisches Wechselfeld angelegt Dieser Anordnung ist einer Röhrenanordnung, beispielsweise einer Triode oder Pentode gleichzusetzen.

Die Gitterelektroden übernehmen dabei eine Ladungsflusssteuerung innerhalb der Flammverbrennung.

35 Dabei kann zwischen Anode und Kathode eine reine Gleichspannung liegen, wenn an den Gitterelektroden wechselfrequente Steuerströme fließen.

Dabei weist vorzugsweise mindestens eine Elektrode eine Elektrodenspitze zur Erhöhung der Feldstärke des elektrischen Feldes auf.

5

Bei der anderen Elektrode handelt es sich vorzugsweise um eine Ringelektrode.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform bilden die 10 beiden Elektroden mit der Flamme einen Kondensator, der in einem elektrischen Schwingkreis verschaltet ist, wobei die Flamme selbst ein RC-Glied bildet.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden in der geschlossenen Brennkammer der Brennstoffverbrennungsvorrichtung durch 15 die Flamme Abfallstoffe, wie beispielsweise Müll, verbrannt.

Diese Abfallstoffe bilden den zugeführten Brennstoff.

20 Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung ist die Form der Flamme in dem Verbrennungsraum durch Veränderungen der Feldstärke und der Frequenz des an die Flamme angelegten elektrischen Feldes E einstellbar.

25

Dies bietet den besonderen Vorteil, dass man gezielt bestimmte Räume innerhalb des Verbrennungsraums durch die Flamme erreichen kann. Man kann die Flamme so auf die räumliche Dimensionierung des Verbrennungsraums abstimmen und die Feldstärke 30 und Frequenz des angelegten elektrischen Feldes vorzugsweise so einstellen, dass der Verbrennungsraum vollständig ausgefüllt ist.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform weist die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung eine Mischeinrichtung 35 zum Vormischen der zugeführten Brennstoffe auf.

In der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung erfolgt die Zündung vorzugsweise durch das Anliegen des elektrischen Feldes.

5 Bei einer alternativen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungseinrichtung ist zusätzlich eine Zündseinrichtung zum Zünden der zugeführten Brennstoffe vorgesehen. Durch diese Zündeinrichtung wird beispielsweise ein Zündfunken zur Auslösung der Verbrennung erzeugt.

10 Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung besteht mindestens eine der beiden Elektroden aus einem katalytisch aktiven Material.

15 Diese katalytisch aktive Material ist vorzugsweise Platin.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung ist eine der 20 beiden Elektroden als Injektorelektrode ausgebildet, durch die die Brennstoffe in den Verbrennungsraum eingesprührt oder durch Ultraschallschwingungen eingenebelt werden.

25 Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung ist eine der beiden Elektroden als Sprühelektrode ausgebildet.

Durch die Sprühelektrode wird die Flamme vorzugsweise elektrostatisch aufgeladen.

30 In diese Flamme kann über ein Antennensystem, das aus der Ringelektrode besteht, ein elektromagnetisches Wechselfeld in die Flamme eingekoppelt werden.

35 Die Erfindung schafft ferner ein Verfahren zur Verbrennung von Brennstoffen durch eine Flamme in einer exothermen chemischen Reaktion mit den folgenden Schritten, nämlich

Zuführen der Brennstoffe in einem Verbrennungsraum zur Erzeugung der Flamme,

Anlegen eines elektrischen Feldes an die Flamme zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas mit einem hohen Ionisationsgrad innerhalb der Flamme.

Dabei wird an die Flamme vorzugsweise ein elektrisches Wechselfeld angelegt.

10 Das elektrische Wechselfeld kann auch über einen Hohlleiter in die Flamme eingekoppelt werden.

Das elektrische Wechselfeld kann dabei von einem Mikrowellen-erzeuger generiert werden.

15 Zusätzlich zu dem elektrischen Wechselfeld wird bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ein elektrisches Gleichfeld an die Flamme angelegt werden.

20 Die Feldstärken des elektrischen Feldes liegen vorzugsweise zwischen 0,1 kV/cm und 10 kV/cm.

Das elektrische Feld wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durch mindestens zwei Elektroden an die Flamme angelegt.

25 Die Feldstärke des elektrischen, dem Gleichspannungsfeld überlagerten Wechselfeldes ist im Zeitverlauf bei einer ersten Ausführungsform sinusförmig.

30 Bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Feldstärke des elektrischen Wechselfeldes im Zeitverlauf pulsförmig.

35 Die Art der Pulsung einer Gleichspannung ist ebenso von Bedeutung, wie dessen Pulskurvenverlauf. Auch die Frequenz und der Kurvenformverlauf einer Gleichspannung überlagernden Wechselspannung ist von Bedeutung.

Sinkt die Pulswerte mit entsprechendem Pulsflankenanstieg von ab 1KV/ns unter 500 ms oder kleiner, ab, werden Festbrennstoffe innerhalb des Flammkörpers weiter pulverisiert. Der 5 Pulsflankenanstieg und die Pulsbreite sind ein Maß für die partikuläre Zerkleinerung der Festbrennstoffe wie beispielsweise Kohlestaub.

Bei der Müllverbrennung vermindert man dadurch eine hohe 10 Staubentwicklung, und ein Anhaftan unverbrannter Kohlenwasserstoffe.

Eine hochfrequente und von hoher Spannung hervorgerufene Verbrennungsreaktion ist sehr wünschenswert, da eine Anzahl 15 sich kurzzeitig und intensiv ausbildender Plasmaflammscheinungen gebildet werden, die zu einer kurzzeitigen, intensiven Entladung innerhalb der Flamme führen. Es ist aber über den Flammwiderstand ein Gleichgewicht des Energieeintrages berechenbar.

20 In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird das Hochfrequenzfeld derart betrieben, dass sich das in dem Kraftstoff Luft-Gemisch im Brennraum gebildete Plasma thermisch im Gleichgewicht befindet, obwohl der Energieeintrag auch nur gepulst werden kann. Durch die erfindungsgemäße Regelung des Hochfrequenzfeldes eines elektrisch gepulsten oder wechselfeldüberlagerten Gleichspannungsfeldes wird erreicht, dass sich eine stationäre Plasmaverbrennung und dadurch eine gleichmäßige Plasmaentladung hoher Intensität ausbildet, die nur eine geringe Entladungsneigung aufweist. Statt dessen wird aufgrund der hohen Frequenz erfindungsgemäß erreicht, dass sich kurzzeitige, hochohmige Plasmaentladungen innerhalb der Flamme in Form von Plasmablitzen ausbilden, die intensiv Energie zur Radikalisierung des Kohlenwasserstoff Luft-Gemisches hervorrufen. 25 Zwar wirken diese Plasmaentladungen nur kurzzeitig, dafür aber aufgrund ihrer Anzahl in dem der Elektrode benachbarten 30 35

Bereich bei der hohen Potentialdifferenzen besonders intensiv. Dadurch ist der niedrige Energieeintrag in die Flamme zu erklären.

5 In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung wird das Hochfrequenzfeld mit einer Frequenz im MHz-Bereich betrieben. Eine derart hohe Frequenz trägt zur Bildung der homogen statio-  
nären, sich im thermischen Gleichgewicht befindlichen Plasma-  
verbrennung bei, bei der Ausgleichsvorgänge durch Entladungen  
10 in Form von hochohmigen Plasmaentladungen und damit eine in-  
tensiven Flammreaktion erfolgt.

Besonders günstig ist es, wenn das Plasma durch ein Hochfrequenzfeld mit einem steil ansteigenden, impulsförmigen Ver-  
15 lauf erzeugt wird, bei dem in weiterer Ausgestaltung der  
steil ansteigende impulsförmige Verlauf auf Werte kleiner o-  
der gleich etwa 500 V/us begrenzt wird. Durch derartige Span-  
nungsverläufe wird die Bildung von hochohmigen, nur kurzzei-  
tig brennenden Plasmaentladungen innerhalb der Flamme begüns-  
20 tigt.

In einer anderen Weiterbildung wird das Hochfrequenzfeld auf einen im wesentlichen sinusförmigen Verlauf ausgeregelt, der im Bereich der Flanken der Sinusfunktion einen steil anstei-  
25 genden Verlauf aufweisen kann.

Von besonderem Vorteil ist es, wenn die Plasmaentladung aus Korona- und/oder Streamer-Entladungen an der Elektrode gebil-  
det werden, um einen sicheren Flammkontakt herzustellen und  
30 den Elektrodenverschleiß zu reduzieren. Hierbei können sich in einer Weiterbildung die Plasmafäden von der Elektrode bü-  
schelförmig divergierend zu der Flamme ausbreiten.

35 In einer vorteilhaften Ausgestaltung bilden sich die Entla-  
dungen zwischen einer einzelnen Elektrode an der Flamme im  
Brennraum aus.

Dies hat den Vorteil, dass die Geometrie der mindestens einen Elektrode eine Feldstärkeüberhöhung des Hochfrequenzfeldes hervorruft, die zu Bildung kurzeitiger Plasmaentladungen in 5 die Flamme hinein führen. Eine derartige Konzentration der Wirkungen des Hochfrequenzfeldes auf die Flamme erlaubt ein sicheres Zünden der Flamme als auch ein sicheres Betreiben derselben.

10

Beispielhaft konstruktiv ist eine Elektrode in der Mitte des Reaktionsraumes der technischen Flamme sinnvoll, die eine Spitzenzündentladung mittels einer Tesla-Transformatoranordnung bei Reaktionsstart auslöst.

15

Die Abbrandkapazität ist ein dynamischer Flammsteuerungsfaktor und kann als regeldynamische Flammoptimierungskonstante genutzt werden.

20

Flammen werden bei bestimmten Frequenzen zum Oszillieren in Eigenresonanz angeregt. Die Oszillation der Flamme kann frequenzgesteuert werden.

25

Bei Anlegen von zwei Wechselspannungen an die Flamme entsteht nach dem Überlagerungsprinzip eine Differenzfrequenz der Frequenzen beider Wechselspannungen, was bedeutend zur Vermeidung von Flammabrissen oder der Unterdrückung von dynamischen Überschwingungen der Flammen beiträgt.

30

Die Frequenz des elektrischen Wechselfeldes liegt vorzugsweise zwischen 50 Hz und 2 GHz.

35

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die zugeführten Brennstoffe durch Anlegen des elektrischen Feldes gezündet, wobei die exotherme chemische Reaktion ausgelöst wird.

Bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist zusätzlich eine Zündeinrichtung vorgesehen, durch die die zugeführten Brennstoffe gezündet werden.

- 5 Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Brennstoffe zunächst durch eine Mischeinrichtung stöchiometrisch gemischt und anschließend dem Verbrennungsraum zugeführt.
- 10 Die Brennstoffe werden vorzugsweise in den Verbrennungsraum gesprührt.

Die Erfindung schafft ferner einen schadstoffarmen Verbrennungsmotor mit

- 15 einer Kraftstoffzuführereinrichtung zum Zuführen von Kraftstoff, mindestens einer Brennkammer zum Verbrennen des zugeführten Kraftstoffes in einer Explosionsflamme, wobei jede Brennstoffkammer jeweils mindestens zwei Elektroden aufweist, durch die ein elektrisches Feld an die Explosionsflamme zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas anlegbar ist.
- 20

Die Brennkammer wird vorzugsweise durch einen Motorzylinder und einen darin beweglichen Motorkolben zur Kraftübertragung gebildet.

Die erste Elektrode des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors ist vorzugsweise eine Spitzenelektrode.

- 30 Die zweite Elektrode des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors wird vorzugsweise durch den geerdeten Motorzylinder gebildet.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors ist die erste Elektrode an eine Gleich-

- 35 spannungsquelle angeschlossen.

Diese Gleichspannungsquelle ist vorzugsweise in Reihe zu einem Schwingkreis geschaltet, der aus einem Kondensator mit einer Schwingkreisspule besteht.

5 In diese Schwingkreisspule wird vorzugsweise über eine weitere Spule ein Pulssignal eingekoppelt.

Die Schwingfrequenz des Schwingkreises liegt dabei vorzugsweise zwischen 50 Hz und 2 GHz.

10

Bei einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors ist der Verbrennungsmotor ein Ottomotor.

15

Bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors ist der Verbrennungsmotor ein Dieselmotor.

20

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors wird der zugeführte Kraftstoff durch das angelegte elektrische Feld zur Erzeugung einer Explosionsflamme gezündet.

25

Die Erfindung schafft ferner eine Abfallverbrennungsvorrichtung zur Verbrennung von Abfallstoffen mit einem Verbrennungsraum zur Verbrennung der darin befindlichen Abfallstoffe in einer Flamme, und mit mindestens zwei Elektroden durch die ein elektrisches Feld an die Flamme zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas angelegt wird.

30

Bei einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abfallverbrennungsvorrichtung ist der Verbrennungsraum ein Drehtrommelofen.

35

Dabei wird die erste Elektrode vorzugsweise durch eine Spitzelektrode und die zweite Elektrode vorzugsweise durch eine Ofenmantelelektrode gebildet.

Bei einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abfallverbrennungsvorrichtung wird die erste Elektrode durch ein Nadelelektrrodengitter und die zweite Elektrode durch ein Rostfeuerungsgitter gebildet.

5

Bei der bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abfallverbrennungsvorrichtung weist der Verbrennungsraum eine erste Öffnung zum Zuführen von Zuluft und eine zweite Öffnung zum Abführen von Abluft auf.

10

Die Erfindung schafft fernen einen Heizofen zur Verbrennung von Brennstoffen in eine exotherme chemische Reaktion mit einer Einrichtung zum Zuführen der Brennstoffe, einen Verbrennungsraum zur Verbrennung der zugeführten Brennstoffe in einer Flamme,

15

und mit mindestens zwei Elektroden durch die ein elektrisches Feld an die Flamme zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas mit hohen Ionisationsgrad anlegbar ist, wobei durch die Flamme ein Medium erhitzt wird.

20

Bei dem Medium handelt es sich vorzugsweise um die Umgebungsluft.

25

Das erhitzte Medium wird vorzugsweise einem Wärmetauscher zugeführt.

30

Im weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung, des erfindungsgemäße Verfahren zur Verbrennung von Brennstoffen, des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors, der erfindungsgemäßen Abfallverbrennungsvorrichtung und des erfindungsgemäßen Heizofens unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren zur Erläuterung der erfindungsgemäßen Merkmale beschrieben.

35

Es zeigen:

Figur 1 einen Flammenionisationsdetektor nach dem Stand der Technik;

5 Figur 2a einen Plasma-Jet-Generator nach dem Stand der Technik;

Figur 2b einen Schadstoffkatalysator nach dem Stand der Technik;

10 Figur 3 eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffvorrichtung;

15 Figur 4a eine erste Ausführungsform der in der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung eingesetzten Spitzenelektrode;

Figur 4b eine zweite Ausführungsform der in der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung eingesetzten Spitzenelektrode;

20

Figur 5 eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

25

Figur 6a eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

Figur 6b die in Figur 6a dargestellte dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung in einem Regelkreis;

30

Figur 7 eine vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

35

Figur 8 eine an die Elektroden angelegte Wechselspannung gemäß einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

Figur 9 ein weiteres an die Elektroden angelegtes Wechselspannungssignal gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

5

Figur 10 ein weiteres an die Elektroden angelegtes Spannungssignal gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffvorrichtung;

10 Figur 11 ein weiteres Wechselspannungssignal, das an die Elektroden der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform angelegt wird;

15 Figur 12 die Anordnung der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung in einem Schwingkreis;

Figur 13 ein Ersatzschaltbild das in Figur 12 dargestellten Schwingkreises;

20

Figur 14 ein schadstoffarmen Verbrennungsmotor gemäß der Erfindung;

25 Figur 15a ein Pulssignal, welches in den Schwingkreis des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors gemäß Figur 14 eingekoppelt wird;

30 Figur 15b ein an die Spitzenelektrode des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors angelegten Wechselspannungssignals gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verbrennungsmotors nach Figur 14;

Figur 16 eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abfallverbrennungsvorrichtung;

35

Figur 17 eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abfallverbrennungsvorrichtung;

Figur 3 zeigt die Grundanordnung der erfundungsgemäßen Verbrennungsvorrichtung 1. Die Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1 dient zur Verbrennung von Brennstoffen in einer exothermen chemischen Reaktion. Die Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1 weist eine Einrichtung 2 zum Zuführen von Brennstoffen auf. Bei der in Figur 3 dargestellten Ausführungsform handelt es sich bei den Brennstoffen um ein Gasgemisch. Dabei werden die zuverbrennenden Gase einer Mischeinrichtung 3 zugeführt, die die zu verbrennenden Gase durch stöchiometrisch vormischt und das Brennstoffgemisch über eine Gasleitung 2 abgibt. Die Gasleitung 2 weist eine Austrittsöffnung 4 auf, über die das Gasgemisch ausströmt. Eine Ringelektrode 5 ist ringförmig um die Austrittöffnung 4 angeordnet und über eine Leitung 6 mit einem Spannungsgenerator 7 verbunden. Der Spannungsgenerator 7 ist über eine Leitung 8 an eine Spitzenelektrode 9 angeschlossen. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung  $U$  zwischen der Ringelektrode 5 und der Spitzenelektrode 9 entsteht ein elektrisches Feld  $E$  in dem offenen Verbrennungsraum zwischen den Elektroden 5, 9.

Das elektrische Feld  $E$  zündet das ausströmende Gasgemisch, das in eine Abbrandflamme 10 verbrennt. Die Flamme 10 weist einen Flammenkern 10a und einen Flammenmantel 10b auf. Die Flamme 10 brennt in einem Verbrennungsraum. Bei der in der Figur 3 dargestellten Ausführungsform ist der Verbrennungsraum offen. Bei einer alternativen Ausführungsform ist der Verbrennungsraum eine geschlossene Brennkammer. Durch das an die Flamme 10 angelegte elektrische Feld  $E$  wird in der Flamme 10 ein Reaktionsplasma erzeugt, dass einen hohen Ionisationsgrad aufweist. Die an die beiden Elektroden 9, 5 angelegte Wechselspannung weist vorzugsweise eine Frequenz  $f$  zwischen 50 Hz und 2 GHz auf. Dabei kann die Wechselspannung sinusförmig oder pulsförmig sein. Zusätzlich erzeugt der Spannungsgenerator 7 vorzugsweise zusätzlich eine Gleichspannung, so dass neben dem elektrischen Wechselfeld auch ein elektrisches Gleichfeld an die Flamme 10 angelegt ist. Die Feldstärke des

angelegten elektrischen Feldes E beträgt dabei vorzugsweise 0,1 - 10 kV/cm.

In der Flamme 10 läuft eine ladungsbeschleunigte exotherme 5 Reaktion ab. Durch das angelegte elektrische Feld E, das aus einem elektrischen Gleichfeld und einem elektrischen Wechselfeld besteht, entstehen Ionen und Elektronen in der Flamme.

Die wichtigsten Reaktionsphasen innerhalb des Verbrennungs- 10 prozesses redoxreaktiver exothermer Reaktionen sind die thermische Radikalisierung, das Cracken und die redoxreaktive Abbrandreaktion. Die thermische Radikalisierung und die Plasma- bildung wird durch das angelegte elektrische Feld E verstärkt. Die gebildeten Radikale erhalten ihren Energiezustand 15 aufrecht bis ein Redoxreaktionspartner die chemische Redox- reaktion auslöst. Die Reaktionszeit der Redoxreaktion sinkt mit dem zunehmenden Radikalisierungsgrad der Redoxreakti- onspartner. Dies hat zur Folge, dass der exotherme Tempera- 20 turgradient steigt. Die Temperatur innerhalb der Flamme 10 und somit der Verbrennungswirkungsgrad n werden ebenfalls erhöht.

Die zugeführten Brennstoffmoleküle werden thermisch gecrackt. Das angelegte elektrische Feld E beschleunigt das Zusammen- 25 führen der radikalisierten und ionisierten Redoxreakti- onspartner, so dass die Reaktionsgeschwindigkeit stark zunimmt. Durch das elektrische Feld E verschiebt sich das elektrochemische Gleichgewicht der Verbrennungsreaktion. Es werden die statischen, elektrodynamischen und verbrennungskin- 30 etischen Parameter verändert. Die Abbrandzeiten werden verkürzt. Das Reaktionsplasma der Flamme weist einen sehr hohen Ionisationsgrad I auf. Der Flammenwiderstand R des erzeugten Plasmas ist niedriger als der elektrische Widerstand einer gewöhnlichen Flamme. Der dabei auftretende Ionisationsgrad I 35 innerhalb des Plasmas hängt von der Frequenz, der Flanken- steilheit und dem Pulsverhältnis der angelegten elektrischen Wechselspannung U ab.

Das elektrische Wechselfeld wird bezüglich der Feldstärke und der Frequenz derart ausgebildet, dass der Ionisationsgrad I innerhalb der Flamme optimal ist. Mit steigendem Ionisationsgrad I sinkt der Schadstoffanteil, da die Verbrennungsstoffe vollständig verbrennen. Der Ionisationsgrad I darf allerdings nicht zu sehr gesteigert werden, damit nicht zuviel zugeführte elektrische Energie als Wärme verlorengeht. Durch die Einstellung der Feldstärke und der Frequenz des angelegten elektrischen Feldes E lässt sich das Verhältnis der Ausgangsprodukte der chemischen Redoxreaktion zueinander beeinflussen. Reagieren beispielsweise zwei Stoffe A, B zu Ausgangsprodukten C, D, lässt sich durch die Frequenz f und die Feldstärke des an die Flamme 10 angelegten elektrischen Feldes E das Verhältnis der Ausgangsprodukte C, D beeinflussen. Mit der erfindungsgemäßen Brennstoffvorrichtung 1 ist es daher möglich, gezielt den Anteil von schädlichen Brennstoffprodukten zu reduzieren.

Die Figuren 4A, 4B zeigen verschiedene Ausführungsformen der Spitzenelektrode 9 innerhalb der erfindungsgemäßen Brennstoffvorrichtung 1. Durch die Spitzenelektrode 9a bzw. 9b erfolgt eine Verdichtung der Feldlinien und somit eine lokale Erhöhung der Feldstärke. Bei der in Figur 4A dargestellten Ausführungsform der Spitzenelektrode 9a ist ein Draht 11a mit einem Durchmesser von 1/10 bis 1/100 mm in einem Mantel 12a untergebracht. Die Ummantelung 12a besteht aus einem Isolationsmaterial bzw. einer Keramik, wie beispielsweise Quarz. Dieser Draht 11a ist über die Leitung 8 an den Spannungsgenerator 7 angeschlossen. Am Ende des Zuleitungsdrahtes 11a befindet sich eine Kugel 13a, deren Durchmesser größer ist als der Durchmesser des Drahtes 11a. Der Draht 11a besteht herkömmlicherweise aus einer Wolfram-Stahl-Legierung. Die Kugel

13a besteht ebenfalls vor dem Zünden aus einer Wolfram-Stahl-Legierung. Nach dem Zünden bildet sich in der Kugel 13a eine Schicht aus Wolfram-Carbit, die hochtemperaturbeständig ist.

5 Die Figur 4B zeigt eine alternative Ausführungsform der Spitzenelektrode 9. Bei der in Figur 4B dargestellten Ausführungsform weist die Spitzenelektrode 9b eine kegelförmige Spitze 13b auf. Aufgrund der kegelförmig zulaufenden Spitze 13b wird eine besonders hohe Feldstärkendichte erreicht.

10

Figur 5 zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1. Bei der in Figur 5 dargestellten Ausführungsform ist zusätzlich ein Transformator 14 vorgesehen, der eine erste Spule 14a und eine zweite Spule 14b enthält. Durch den Transformator 14 wird die durch die Spannungsquelle 7 erzeugte Wechselspannung entsprechend dem Windungsverhältnis der beiden Spulen 14a, 14b hochtransformiert. Die hochtransformierte Wechselspannung wird über die Leitungen 6, 8 an die beiden Elektroden 5, 9 zur Erzeugung eines elektrischen Wechselfeldes angelegt. Durch die in Figur 5 dargestellte Ausführungsform können besonders hohe elektrische Feldstärken erreicht werden.

25 Die Figur 6A zeigt eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1. Bei der in Figur 6A dargestellten Ausführungsform wird die Gegenelektrode 9 nicht durch eine Spitzenelektrode gebildet, sondern durch eine Gegenelektrode 9, die einen aus Isolationsmaterial bestehenden Glaszylinder umschließt. Der aus einem isolierenden Material bestehende Zylinder 15 ist mit der Gegenelektrode 9 beschichtet. Der Innenraum des Zylinders 15 bildet den Verbrennungsraum für die Flamme 10. Bei dem Zylinder 15 handelt es sich vorzugsweise um eine Quarzröhre. Die Flamme 10

nimmt über das Quarz 15 elektrische Ladung auf, sodass aufgrund des elektrischen Wechselfeldes ein kapazitiver Blindstrom fließen kann. Wird zusätzlich durch den Spannungsgenerator 7 eine Gleichspannung an die Elektroden 5 und 9 angelegt, fließt zusätzlich ein geringer Gleichstrom.

Figur 6B zeigt die in Figur 6A dargestellte dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1 in einem Regelkreis. Die Flamme 10 verbrennt das zugeführte Gasgemisch und gibt Abgase nach oben zu einem Abgasdetektor 16 ab. Der Abgasdetektor 16 erfasst die chemische Zusammensetzung des Abgases und stellt den Schadstoffanteil beispielsweise den Anteil von Stickoxid innerhalb des Abgases fest. Der Abgasdetektor 16 liefert über eine Datenleitung 17 Daten an eine Steuerung 18, wobei die zugeführten Daten den Anteil der zu beseitigenden Schadstoffe im Abgas anzeigen. Die Steuerung 18 steuert über Steuerleitungen 19 die Amplitude ( $U$ ) und die Frequenz  $f$  der durch den Spannungsgenerator 7 erzeugten Spannung  $U$ . Hierdurch werden die Amplitude  $|U|$  und die Frequenz  $f$  des an die Flamme 10 angelegten elektrischen Feldes  $E$  eingestellt. Die in Figur 6B dargestellt Anordnung stellt einen Regelkreis 20 dar, mit dessen Hilfe der Schadstoffanteil der Abgase, die durch die Abbrandflamme 10 hervorgerufen werden, minimiert werden kann. Hierzu verändert die Steuerung 8 die Frequenz und die Amplitude der Spannung solange, bis durch den Abgasdetektor 16 ein minimaler Schadstoffanteil festgestellt wird. Durch die in Figur 6B dargestellte Regelung können besonders umweltfreundliche Heizöfen realisiert werden. Durch die Erzeugung des Plasmas innerhalb der Flamme 10 wird der Schadstoffanteil minimiert. Dabei werden die Frequenz  $f$  und die Amplitude des angelegten elektrischen Feldes  $E$  derart geregelt, dass die Konzentration der abgegebenen Schadstoffe minimal ist. Bei einer bevorzugten

Ausführungsform ist die Steuerung 18 für verschiedene durch den Mischer 3 zugeführte Brennstoffgasgemische programmierbar.

5 Figur 7 zeigt eine vierte Ausführungsform der erfindungsgemäß  
15 Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1. Bei der in Figur 7  
dargestellten Ausführungsform wird die Gegenelektrode durch  
die Erde bzw. Masse gebildet. Der Vorteil der in Figur 7 dar-  
gestellten Ausführungsform besteht darin, dass eine Gegen-  
10 bzw. Spitzenelektrode nicht vorgesehen werden muss.

Die Figuren 8 bis 11 zeigen verschiedene Signalverläufe der an die Elektroden 5, 9 angelegten Spannung  $U$ . Bei dem in Figur 8 dargestellten Spannungsverlauf handelt es sich um eine  
15 sinusförmige Wechselspannung, die einer Gleichspannung  $U_0$  überlagert ist. Dabei beträgt das Verhältnis der Amplitude der Wechselspannung  $|\hat{U}|$  zu der Gleichspannung  $U_0$  vorzugsweise etwa eins, wie in Figur 9 dargestellt.

20 Figur 10 zeigt eine weitere mögliche Signalform des angelegten Wechselspannungssignals, wobei die ansteigende Signalflanke steiler ist als die abfallende Signalflanke. Das angelegte Wechselspannungssignal ist pulsförmig. Die ansteigende Signalflanke weist beispielsweise eine Flankensteilheit von  
25 2 kV/ms auf. Hierdurch lassen sich besonders hohe Ionisationsgradienten innerhalb der Flamme erreichen.

Figur 11 zeigt eine weitere Variante eines an die Elektroden 5, 9 angelegten Wechselspannungssignals. Das in Figur 11 dargestellte Wechselspannungssignal ist pulsförmig. Das Pulsverhältnis, welches sich aus dem Verhältnis zwischen Dauer des Pulses  $\Delta t_{\text{Puls}}$  und der Pulsfolgezeit  $\Delta t_{\text{Pause}}$  ist, ergibt, beträgt vorzugsweise etwa 1/3. Mit zunehmender Dauer der angelegten

Spannungsimpulse sinkt der Widerstand  $R$  der Flämme asymptotisch gegen einen Widerstand  $R_0$  ab. Die Flankensteilheit der Spannungsimpulse beträgt beispielsweise 2 kV/ms. Typische Amplituden der Spannungsimpulse liegen bei 8 kV. Durch das 5 Anlegen der pulsförmigen Wechselspannung oszilliert die Flamme harmonisch.

Figur 12 zeigt die in Figur 6A dargestellte dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1 in einem Schwingkreis. Die durch den Spannungsgenerator 7 erzeugte Spannung  $U$  wird über einen Kondensator 21 und einen Transformator 22, der aus zwei gekoppelten Spulen 22a, 22b besteht, an den Sekundärkreis angelegt. Die Ringelektrode 5 ist über eine Leitung 23 mit der Sekundärspule 22b verbunden. Die Gegenelektrode 9 ist über eine Leitung 24 an eine Gleichspannungsquelle 25 angeschlossen. Der Flammenmantel 10b der Flamme 10 bildet eine Gegenelektrode zu der zylinderförmigen Elektrode 9. Der Flammenmantel 10b bildet eine Kondensatoroberfläche. Über den Schwingkreis wird Energie eingekoppelt. Der sekundäre Schwingkreis besteht aus der Koppelinduktivität 22b und einem Kondensator. Dieser Kondensator wird durch den Gegenelektrodenmantel 9, den Flammenmantel 10b sowie dem Luftdielektrikum gebildet. 10 15 20

Figur 13 zeigt das Ersatzschaltbild für den in Figur 12 dargestellten Schwingkreis. Die Elektrode 9 und der Flammenmantel 10b bilden einen Kondensator 26, zu dem der Flammenwiderstand 27 parallel geschaltet ist. Durch die Gleichspannungsquelle 25 wird eine Gleichvorspannung von 1 bis 10 KV angelegt. Durch den Schwingkreis wird die Flamme bezüglich ihrer Form und ihres Abbrandverhaltens stabilisiert. Bei dem sekundären Schwingkreis handelt es sich um einen RCL-Schwingkreis. Der Schwingkreis weist eine Resonanzfrequenz  $f_R$  auf. Die 25 30

Flamme' kann aus halboffener Resonanzkreis oder als geschlossener Resonanzkreis fungieren. Die Flamme 10 wirkt als offener Resonanzkreis bzw. als Antenne, wobei der Flammenkörper selbst als Energieabsorber fungiert.

5

Figur 14 ist eine bevorzugte Ausführungsform eines schadstoffarmen Verbrennungsmotors gemäß der Erfindung. Der Verbrennungsmotor weist eine nicht dargestellte Kraftstoffzuführeinrichtung zum Zuführen von Kraftstoff auf. Der Kraftstoff wird in einer geschlossenen Brennkammer 28 als Verbrennungsraum zugeführt. Die Brennkammer 28 wird durch einen Motorzyylinder 29 und einen darin beweglichen Motorkolben 20 gebildet, der zur Kraftübertragung vorgesehen ist. Eine Spitzenelektrode 9 ragt in den Verbrennungsraum 28 hinein. Bevorzugte Ausführungsformen einer derartigen Spitzenelektrode 9 sind in den Figuren 4A, 4B dargestellt. Der Kolben 30 ist bis zu einem oberen Totpunkt OT innerhalb des Motorzyinders 29 beweglich. Die Spitzenelektrode 9 reicht bis zu einer Distanz L1 in den Verbrennungsraum 28 hinein. Die Distanz zwischen der Oberseite des Verbrennungsraumes und dem oberen Totpunkt OT beträgt L2. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist der Abstand L1 größer als die Differenz zwischen L2 und L1. Sobald der Kolben 30 den oberen Totpunkt OT erreicht hat, wird über einen Transformator 31, der zwei Spulen 31a, 31b umfasst, ein Spannungsimpuls in die Schwingkreisspule 31b eingekoppelt. Ein Kondensator 32 ist parallel zu der Schwingkreisspule 31b verschaltet. Zwischen der Spitzenelektrode 9 und der Schwingkreisspule 31b ist seriell eine Gleichspannungsquelle 32 verschaltet. Die Gegenelektrode zu der Spitzenelektrode 9 wird vorzugsweise durch den geerdeten Motorzyylinder 29 gebildet.

An der Spitzenelektrode 9 liegt das in Figur 15b dargestellte Spannungssignal an. Durch den Transformator 31 wird die Spannung U1 in die Schwingkreisspule 31b eingekoppelt, so dass der aus dem Kondensator 32 und der Spule 31 bestehende 5 Schwingkreis zu schwingen beginnt. Die erzeugte Schwingung ist gedämpft, so dass deren Amplitude abnimmt. Die Amplitude der vom Spannungsgenerator erzeugten pulsförmigen Spannung beträgt beispielsweise 2 KV. Die Abstände zwischen den verschiedenen Spannungsimpulsen des Spannungssignals U1 wird 10 durch die Umdrehungszahl des Motors bestimmt. Durch den Schwingkreis 31b, 32 wird an die Spitzenelektrode 9 ein schwingendes, abklingendes sinusförmiges Wechselspannungssignal angelegt, dem eine Gleichspannung U0 überlagert ist. Das so gebildete Spannungssignal ist in Figur 15B dargestellt. 15 Durch den ersten Impuls einer Spannungspulsfolge wird das der Brennkammer zugeführte Kraftstoffgemisch gezündet. Durch die nachfolgenden Spannungsimpulse der Pulsfolge wird das in der Explosionsflamme gebildete Plasma aufrecht erhalten. Die Zündung erfolgt vorzugsweise kurz bevor der Kolben 30 den oberen 20 Totpunkt OT erreicht hat. Der erfindungsgemäße Verbrennungsmotor, wie er in Figur 14 dargestellt ist, benötigt keine eigenständige Zündeinrichtung. Diese kann optional zusätzlich vorgesehen werden. Bei dem erfindungsgemäßen Verbrennungsmotor handelt es sich um einen Ottomotor oder um einen Diesel- 25 motor. Die Frequenz f der durch den Schwingkreis 31b, 32 erzeugten Spannungsimpulse kann in einem Bereich zwischen 50 Hz und 2 GHz liegen. Der in Figur 14 dargestellte Verbrennungsmotor gemäß der Erfindung zeichnet sich durch einen besonders einfachen Aufbau aus. Eine herkömmliche Zündkerze wird zur 30 Zündung nicht benötigt. Die Zündung erfolgt durch die Spitzenelektrode 9. Durch Erzeugung des Plasmas innerhalb der Explosionsflamme erfolgt die Verbrennung innerhalb der Verbrennungskammer 28 besonders effektiv mit einem hohen Wir-

kungsgrad. Der Anteil der dabei gebildeten Schadstoffe ist aufgrund des in der Explosionsflamme gebildeten Plasmas besonders gering.

5 Figur 16 zeigt eine erste Ausführungsform einer erfindungsmaßen Abfallverbrennungsvorrichtung 33. Die Abfallverbrennungsvorrichtung 33, wie sie in Figur 16 dargestellt ist, weist einen Verbrennungsraum 34 auf, der bei der in Figur 16 dargestellten Ausführungsform ein Drehtrommelofen 34 ist. Der 10 Drehtrommelofen 34 wird durch Walzenantriebe 36, 37 kontinuierlich gedreht. An dem Boden des Drehtrommelofens 34 befindet sich der zu verbrennende Abfallstoff 38. Der Abfallstoff 38 wird durch eine Öffnung innerhalb des Drehtrommelofens 34 eingeführt. In den Drehtrommelofen 34 ragt eine Spitzenelektrode 9 hinein. Die Spitzenelektrode 9 ist über eine Leitung 8 mit dem Spannungsgenerator 7 verbunden. Der Spannungsgenerator 7 erzeugt eine Wechselspannung und eine Gleichspannung. Die erzeugte Spannung wird über eine Leitung 6 an eine Ofenmantelelektrode 39 angelegt. Die generierte Spannung  $U$  zur 15 Müllverbrennung liegt beispielsweise zwischen 30 und 45 kV. Dadurch wird ein derart starkes elektrisches Feld  $E$  innerhalb des Verbrennungsraumes 34 erzeugt, dass der darin enthaltene Abfallstoff 38 zu brennen beginnt. Der Abfallstoff 38 brennt 20 in einer Flamme 10 ab, die ein Reaktionsplasma beinhaltet. Typische Verbrennungstemperaturen liegen bei 800 °C bis 25 900 °C.

Figur 17 zeigt eine alternative Ausführungsform einer Abfallverbrennungsvorrichtung 33. Bei dieser Ausführungsform wird 30 die erste Elektrode durch ein Nadelelektrodengitter 40 und die zweite Elektrode durch ein Rostfeuerungsgitter, d. h. durch ein isoliertes Netzband 41 gebildet. Der Verbrennungs-

raum 34 weist eine erste Öffnung 42 zum Zuführen von Zuluft und eine zweite Öffnung 43 zum Abführen von Abluft aus.

Die erfindungsgemäße Verbrennungsvorrichtung 1, wie sie in 5 Figur 3 dargestellt ist, eignet sich auch zum Aufbau von Heizöfen. Dabei erhitzt die Flamme 10 die Umgebungsluft als Energieübertragungsmedium. Die Umgebungsluft wird dann einem Wärmetauscher zugeführt.

## Patentansprüche

1. Brennstoffverbrennungsvorrichtung (1) zur Verbrennung von Brennstoffen in einer exothermen chemischen Reaktion mit:

5

- (a) einer Einrichtung (2) zum Zuführen der Brennstoffe;
- (b) einem Verbrennungsraum zur Verbrennung der zugeführten Brennstoffe in einer Flamme (10);
- 10 (c) und mit mindestens zwei Elektroden (5, 9), durch die ein elektrisches Feld (E) an die Flamme (10) zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas in der Flamme (10) angelegt wird, wobei das erzeugte Reaktionsplasma einen hohen Ionisationsgrad aufweist.

15

2. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (5, 9) mit einem Spannungsgenerator (7) verbunden sind.

20

3. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungsgenerator (7) eine Wechselspannung erzeugt.

25

4. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Transformator (14) zur Hochtransformation der durch den Spannungsgenerator (7) erzeugten Wechselspannung vorgesehen ist.

30

5. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die erzeugte Wechselspannung nahezu sinusförmig ist, wo-  
bei eine Differenz in der Fläche der Spannungsfunktion zwi-  
schen der positiven und den negativen Halbwelle besteht.

5

6. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass eine erzeugte Wechselspannung pulsförmig ist.

10 7. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass der Spannungsgenerator (7) eine Gleichspannung erzeugt.

15 8. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die Feldstärke des an die Flamme (10) angelegten elekt-  
rischen Feldes (E) zwischen 0,1 und 10 kV/cm beträgt.

20 9. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die Frequenz (f) des an die Flamme (10) angelegten e-  
lektrischen Feldes (E) zwischen 50 Hz und 2 GHz liegt.

25 10. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass der Verbrennungsraum eine geschlossene Brennkammer ist.

30 11. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass der Verbrennungsraum ein offener Raum ist.

12. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass der zugeführte Brennstoff ein Gasgemisch ist.

13. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet,

5 dass die zugeführten Brennstoffe ein Kohlenwasserstoffgemisch sind.

14. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

10 dass mindestens eine Elektrode (9) eine Elektrodenspitze zur Erhöhung der Feldstärke des elektrischen Feldes (E) aufweist.

15. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

15 dass mindestens eine Elektrode (5) eine Ringelektrode ist.

16. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Elektroden (5, 9) einen Kondensator bilden, der in

20 einem elektrischen Schwingkreis verschaltet ist.

17. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

dass in der geschlossenen Brennkammer durch die Flamme Ab-

25 fallstoffe verbrannt werden.

18. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Form der Flamme in dem Verbrennungsraum durch Verän-

30 derung der Feldstärke und der Frequenz (f) des an die Flamme (10) angelegten elektrischen Feldes (E) einstellbar ist.

19. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Mischeinrichtung (3) zum Vormischen der zugeführten Brennstoffe vorgesehen ist.

5 20. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Zündeinrichtung zum Zünden der zugeführten Brennstoffe vorgesehen ist.

10 21. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass mindestens eine der Elektroden (5, 9) aus einem katalytisch aktiven Material besteht.

15 22. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 21,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das katalytisch aktive Material Platin ist.

20 23. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine der Elektroden (5, 9) eine Sprühelektrode ist,  
durch die die Brennstoffe in den Verbrennungsraum einsprühbar sind.

25 24. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 23,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Flamme (10) durch die Sprühelektrode elektrostatisch aufladbar ist.

30 25. Verfahren zur Verbrennung von Brennstoffen durch eine Flamme in einer exothermen chemischen Reaktion mit den folgenden Schritten:

· (a) Zuführen der Brennstoffe in einen Verbrennungsraum  
zur Erzeugung der Flamme (10);

5 (b) Anlegen eines elektrischen Feldes (E) an die Flamme  
(10) zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas mit einem  
hohen Ionisationsgrad innerhalb der Flamme.

26. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
10 dass ein elektrisches Wechselfeld an die Flamme (10) angelegt  
wird.

27. Verfahren nach Anspruch 26,  
dadurch gekennzeichnet,  
15 dass zusätzlich zu dem elektrischen Wechselfeld ein elektrisches Gleichfeld an die Flamme (10) angelegt wird.

28. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 25 bis  
27,  
20 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Feldstärke des elektrischen Feldes (5) zwischen  
0,1 kV/cm und 10 kV/cm liegt.

29. Verfahren nach Anspruch 1,  
25 dadurch gekennzeichnet,  
dass das elektrische Feld (5) durch mindestens zwei Elektroden (5, 9) an die Flamme (10) angelegt wird.

30. Verfahren nach Anspruch 26,  
30 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Feldstärke des elektrischen Wechselfeldes (E) im  
Zeitverlauf sinusförmig ist.

31. Verfahren nach Anspruch 26,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die Feldstärke des elektrischen Wechselfeldes (E) in  
Zeitverlauf pulsförmig ist.

5

32. Verfahren nach Anspruch 26,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die Frequenz (f) des elektrischen Wechselfeldes (E) zwi-  
schen 50 Hz und 2 GHz liegt.

10

33. Verfahren nach Anspruch 25,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die zugeführten Brennstoffe durch Anlegen des elektri-  
schen Feldes (E) gezündet werden, wobei die exotherme chemi-  
15 sche Reaktion ausgelöst wird.

34. Verfahren nach Anspruch 25,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die zugeführten Brennstoffe durch eine vorgesehene Zünd-  
20 einrichtung gezündet werden.

35. Verfahren nach Anspruch 25,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass die Brennstoffe durch eine Mischeinrichtung (3) stöchio-  
25 metrisch gemischt und anschließend dem Verbrennungsraum zuge-  
führt werden.

36. Verfahren nach Anspruch 25,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
30 dass die Brennstoffe in den Verbrennungsraum gesprührt werden.

37. Schadstoffarmer Verbrennungsmotor mit:

- (a) einer Kraftstoffzuführleinrichtung zum Zuführen von Kraftstoff;
- (b) mindestens einer Brennkammer (28) zum Verbrennen des zugeführten Kraftstoffes in einer Explosionsflamme;
- (c) wobei jede Brennkammer (28) jeweils mindestens zwei Elektroden (5, 9) aufweist, durch die ein elektrischen Feld (E) an die Explosionsflamme zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas anlegbar ist.

10 38. Verbrennungsmotor nach Anspruch 37,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Brennkammer (28) durch einen Motorzylinder (29)  
15 und einen beweglichen Motorkolben (30) zur Kraftübertragung gebildet ist.

20 39. Verbrennungsmotor nach Anspruch 37,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine erste Elektrode (9) eine Spitzenelektrode ist.

25 40. Verbrennungsmotor nach Anspruch 37,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine zweite Elektrode (29) durch einen geerdeten Mo-  
torzylinder gebildet wird.

30 41. Verbrennungsmotor nach Anspruch 37,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die erste Elektrode (9) an eine Gleichspannungsquel-  
le (32) angeschlossen ist.

42. Verbrennungsmotor nach Anspruch 41,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Gleichspannungsquelle (32) in Reihe zu einem Schwingkreis (31b, 32) geschaltet ist, der aus einem Kondensator (32) und einer Schwingkreisspule (31b) besteht.

5 43. Verbrennungsmotor nach Anspruch 42,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass über eine weitere Spule (31a) ein Pulssignal in die Schwingkreisspule (31b) eingekoppelt wird.

10 44. Verbrennungsmotor nach Anspruch 42,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Schwingfrequenz (f) des Schwingkreises (31a, 32) zwischen 50 Hz und 2 GHz liegt.

15 45. Verbrennungsmotor nach Anspruch 37,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der Verbrennungsmotor ein Ottomotor ist.

46. Verbrennungsmotor nach Anspruch 37,  
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der Verbrennungsmotor ein Dieselmotor ist.

47. Verbrennungsmotor nach Anspruch 37,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
25 dass der zugeführte Kraftstoff durch das angelegte elektrische Feld zur Erzeugung der Explosionsflamme gezündet wird.

48. Abfallverbrennungsvorrichtung (33) zur Verbrennung von  
30 Abfallstoffen mit:

- (a) einem Verbrennungsraum (34) zur Verbrennung der darin befindlichen Abfallstoffe (38) in einer Flamme (10);
- 5        (b) und mit mindestens zwei Elektroden (9, 39; 40, 41) durch die ein elektrisches Feld (E) an die Flamme (10) zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas anlegbar ist.
- 10      49. Abfallverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsraum ein Drehtrommelofen ist.
- 15      50. Abfallverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 49, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Elektrode (9) durch eine Spitzenelektrode und eine zweite Elektrode (39) durch eine Ofenmantel-elektrode gebildet ist.
- 20      51. Abfallverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Elektrode (40) durch ein Nadelelektroden-gitter und eine zweite Elektrode (41) durch ein Rostfeuerungsgitter gebildet ist.
- 25      52. Abfallverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsraum (42) eine erste Öffnung zum Zuführen von Zuluft und eine zweite Öffnung (43) zum Abführungen von Abluft aufweist.
- 30      53. Heizofen zur Verbrennung von Brennstoffen in einer exothermen chemischen Reaktion mit:

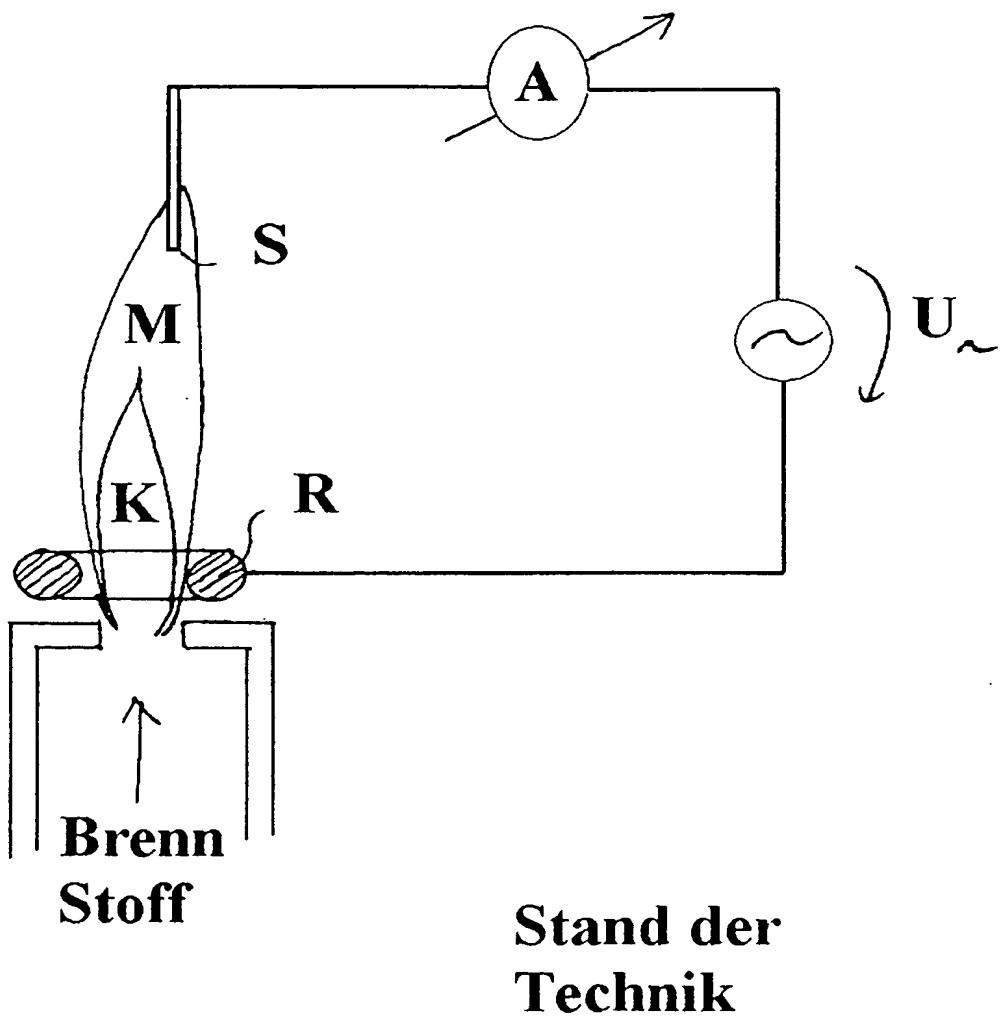
- (a) einer Einrichtung (2) zum Zuführen der Brennstoffe;
- 5 (b) einem Verbrennungsraum zur Verbrennung der zugeführten Brennstoffe in einer Flamme (10);
- (c) und mit mindestens zwei Elektroden (5, 9) durch die ein elektrisches Feld (E) an die Flamme (10) zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas mit hohem Ionisationsgrad anlegbar ist, wobei durch die Flamme (10) 10 ein Medium erhitzt wird.

54. Heizofen nach Anspruch 39,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
15 dass das Medium die Umgebungsluft ist.

55. Heizofen nach Anspruch 40,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass das erhitzte Medium einem Wärmetauscher zugeführt wird.

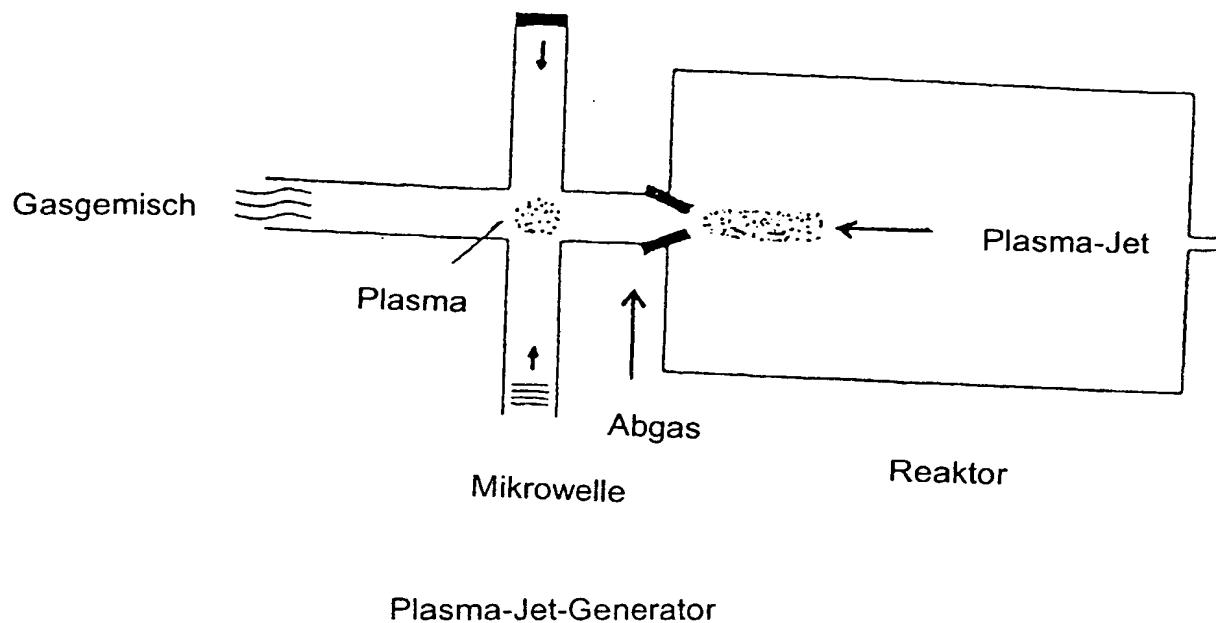
1/19

FIG. 1



ERSATZBLATT (REGEL 26)

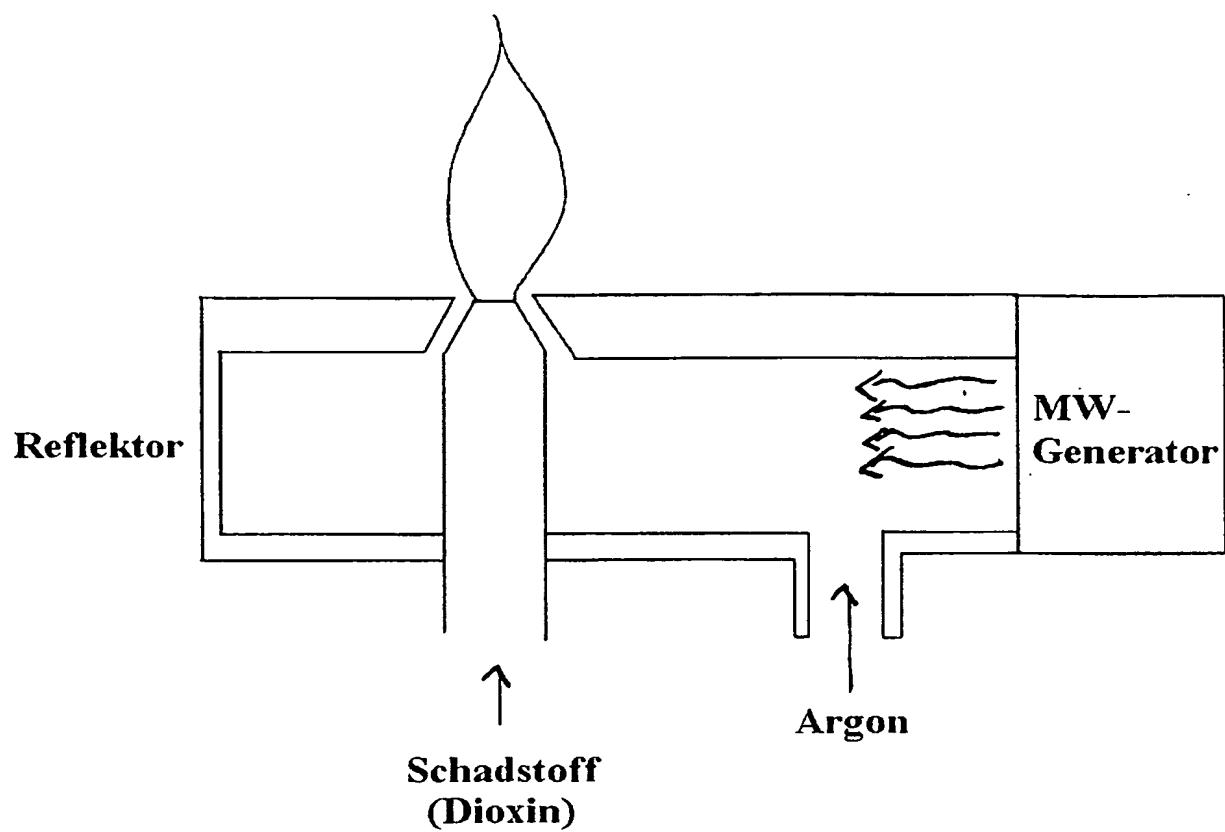
Fig. 2a Stand der Technik



ERSATZBLATT (REGEL 26)

3/19

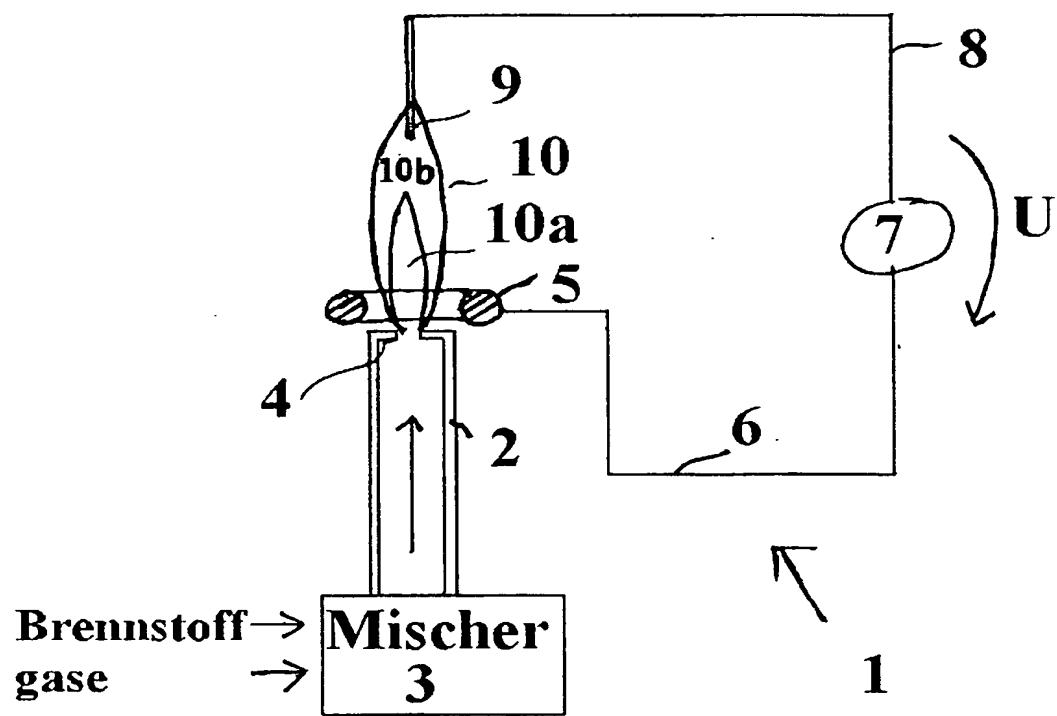
FIG. 2b



ERSATZBLATT (REGEL 26)

4/19

FIG. 3



ERSATZBLATT (REGEL 26)

5/19

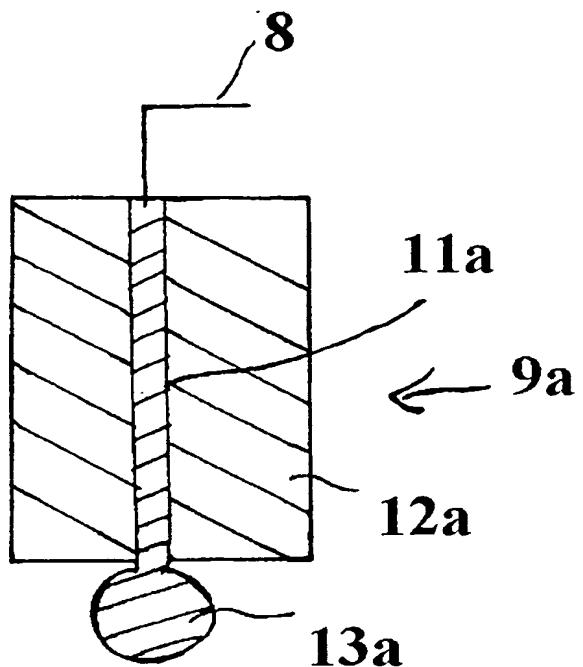


Fig.4a

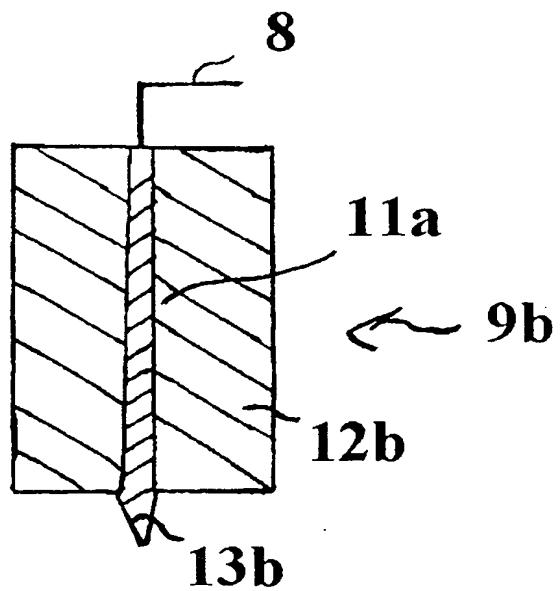
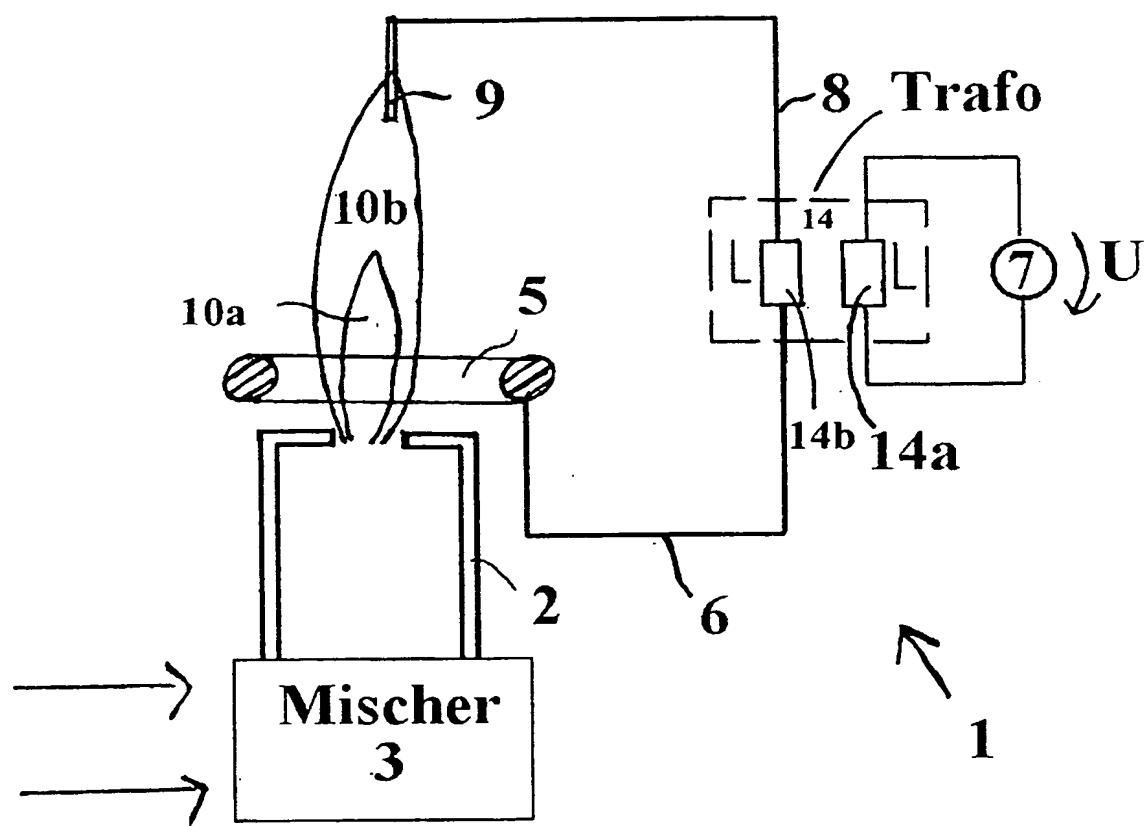


Fig.4b

ERSATZBLATT (REGEL 26)

6/19

FIG. 5



ERSATZBLATT (REGEL 26)

7/19

FIG. 6a

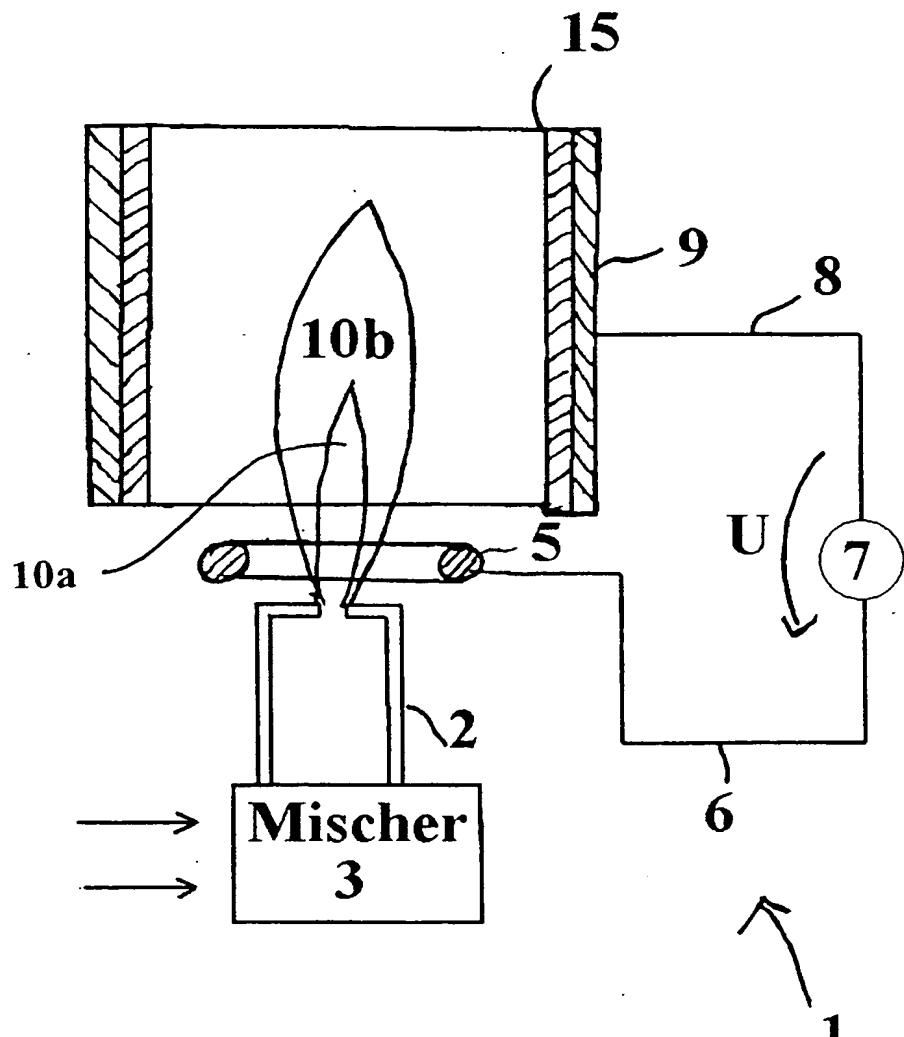
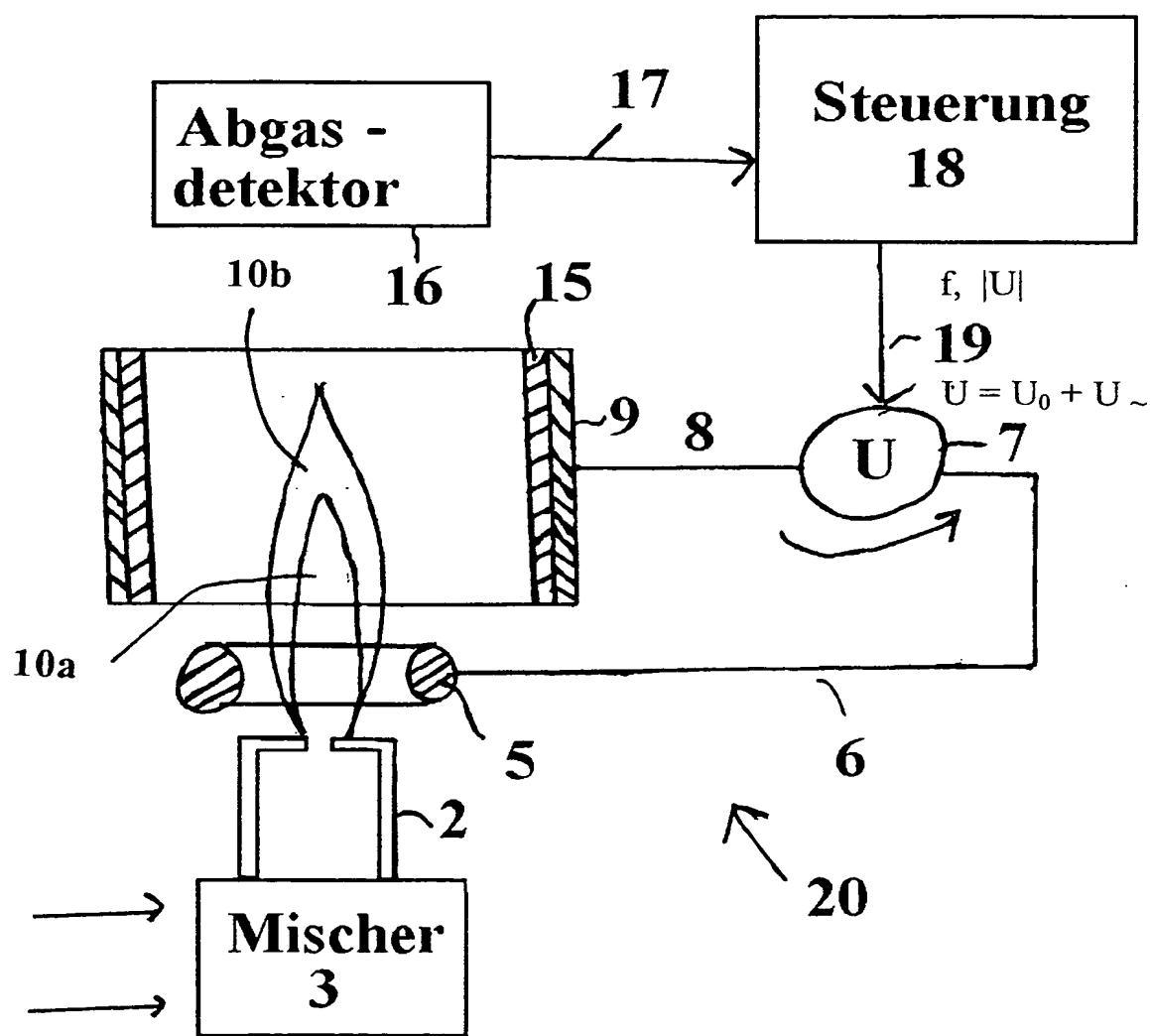


Fig.6a

ERSATZBLATT (REGEL 26)

8/19

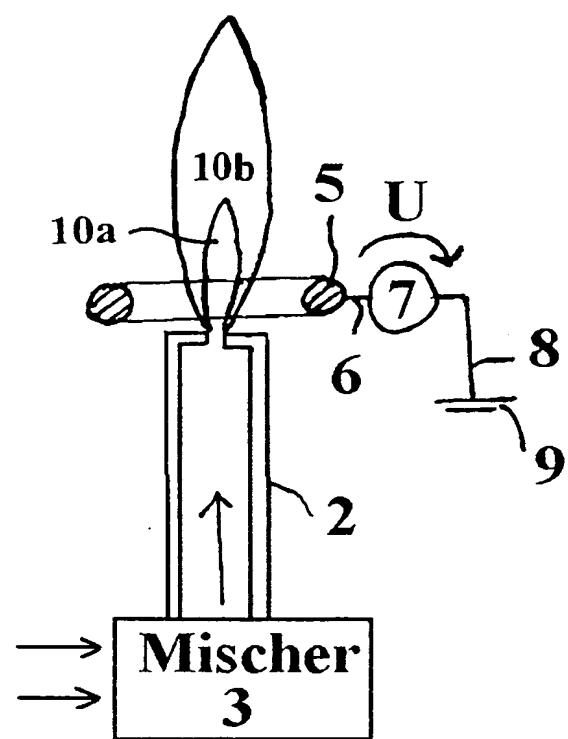
FIG. 6b



ERSATZBLATT (REGEL 26)

9/19

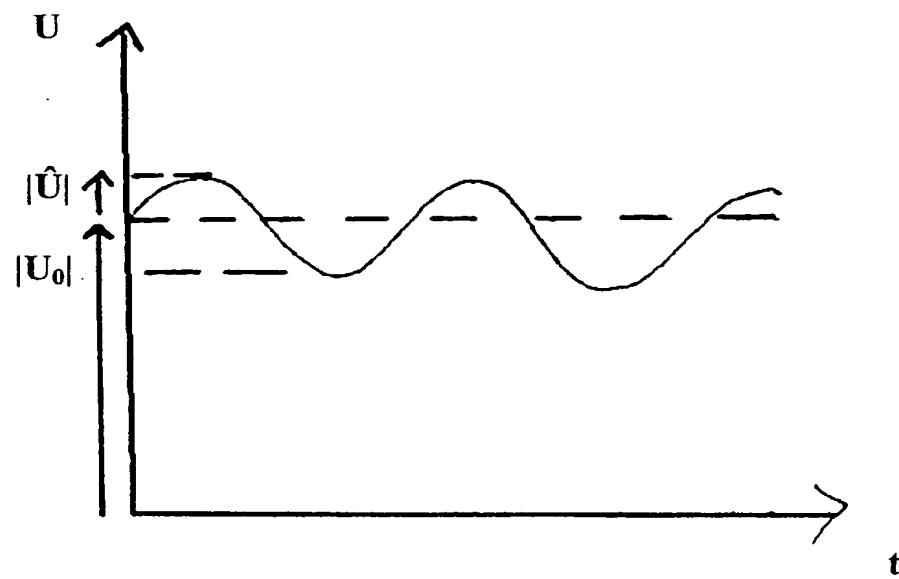
FIG. 7



ERSATZBLATT (REGEL 26)

10/19

FIG. 8

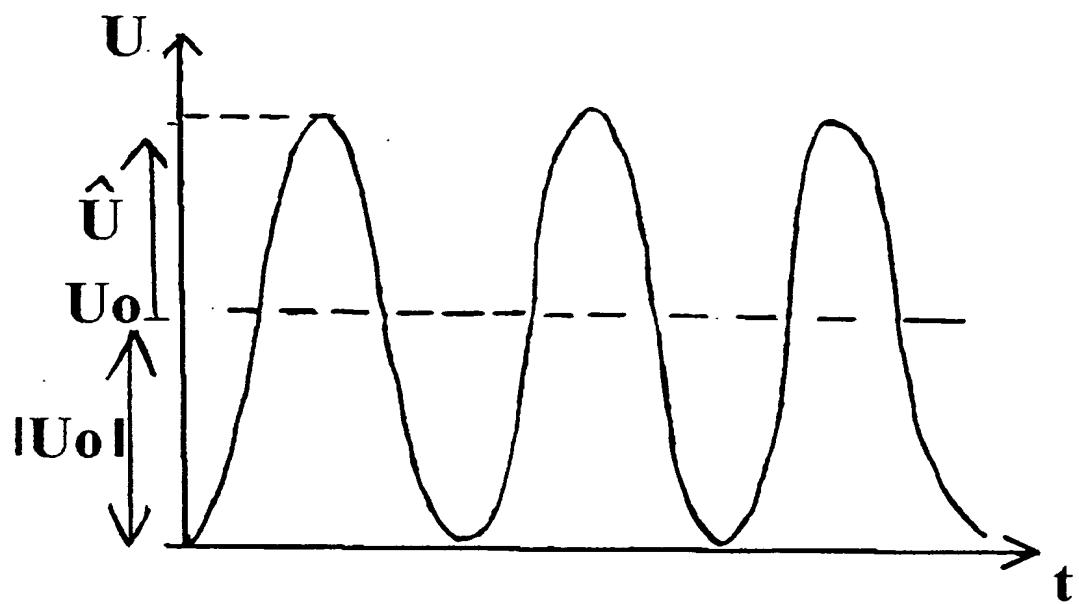


$$V = \frac{|\hat{U}|}{|\mathbf{U}_0|}$$

ERSATZBLATT (REGEL 26).

11/19

FIG. 9



12/19

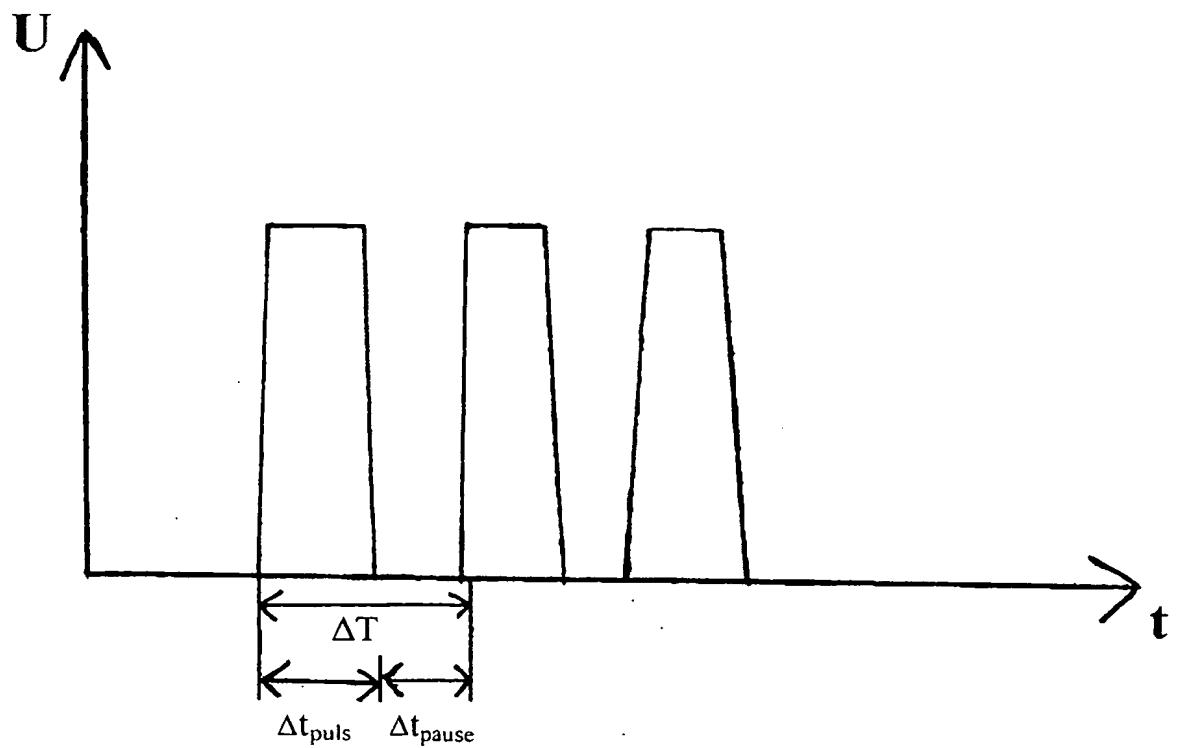
FIG. 10



ERSATZBLATT (REGEL 26)

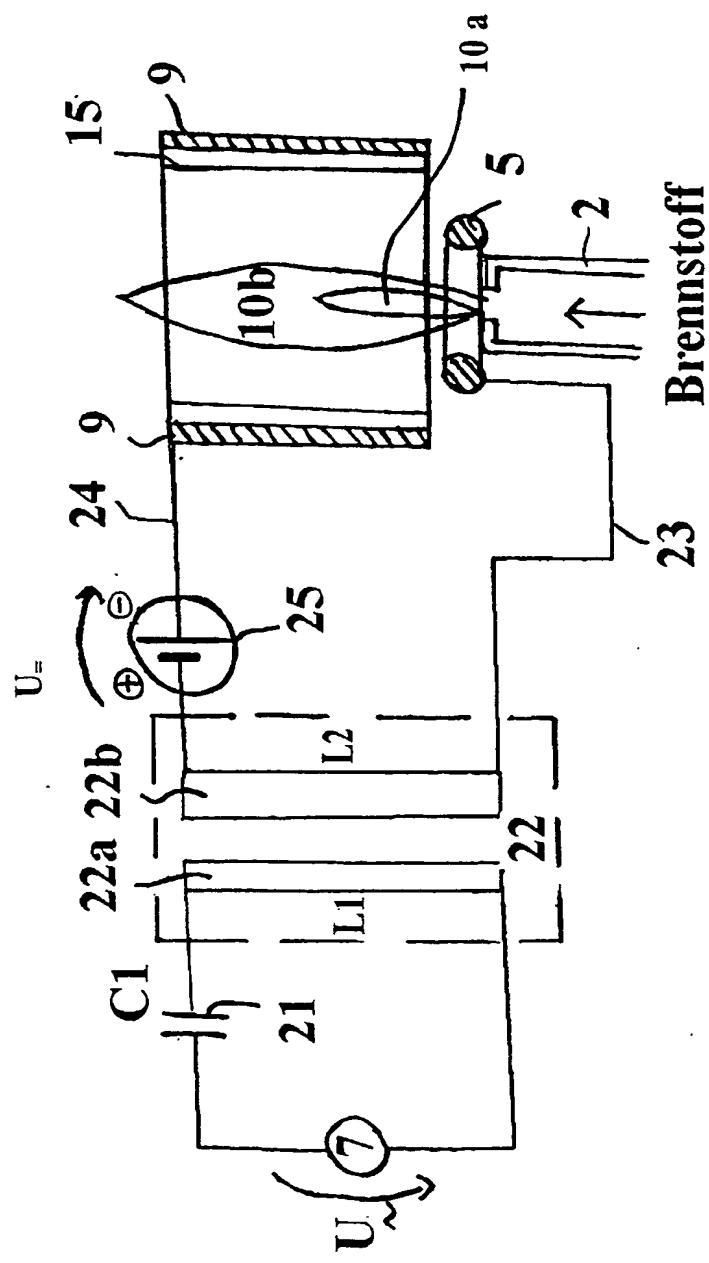
13/19

FIG. 11



ERSATZBLATT (REGEL 26)

FIG. 12



ERSÄTZBLATT (REGEL 26)

15/19

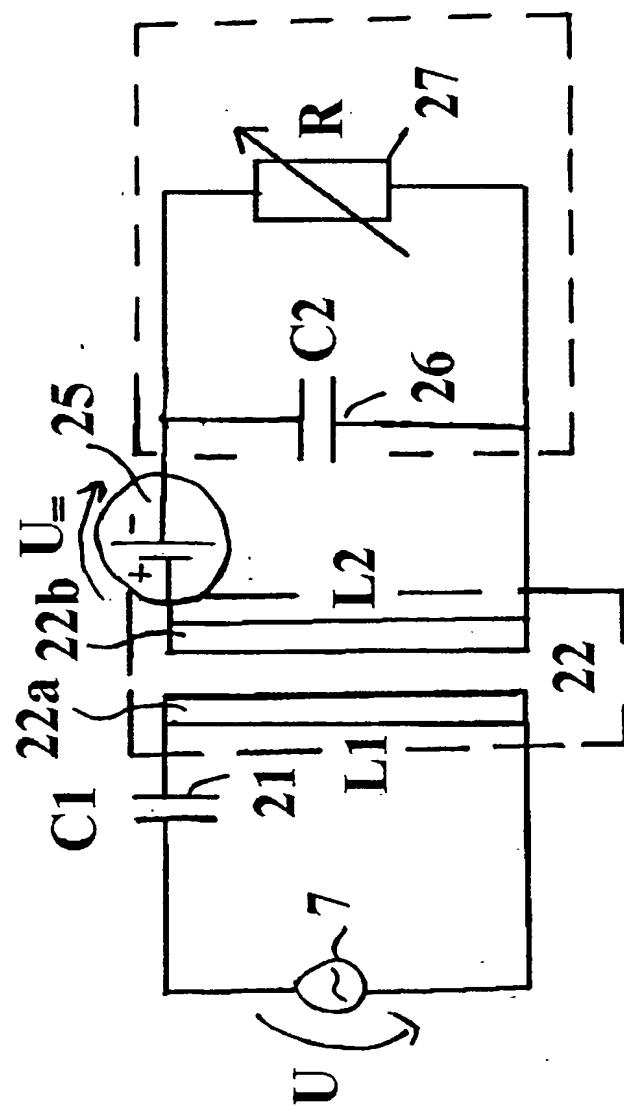
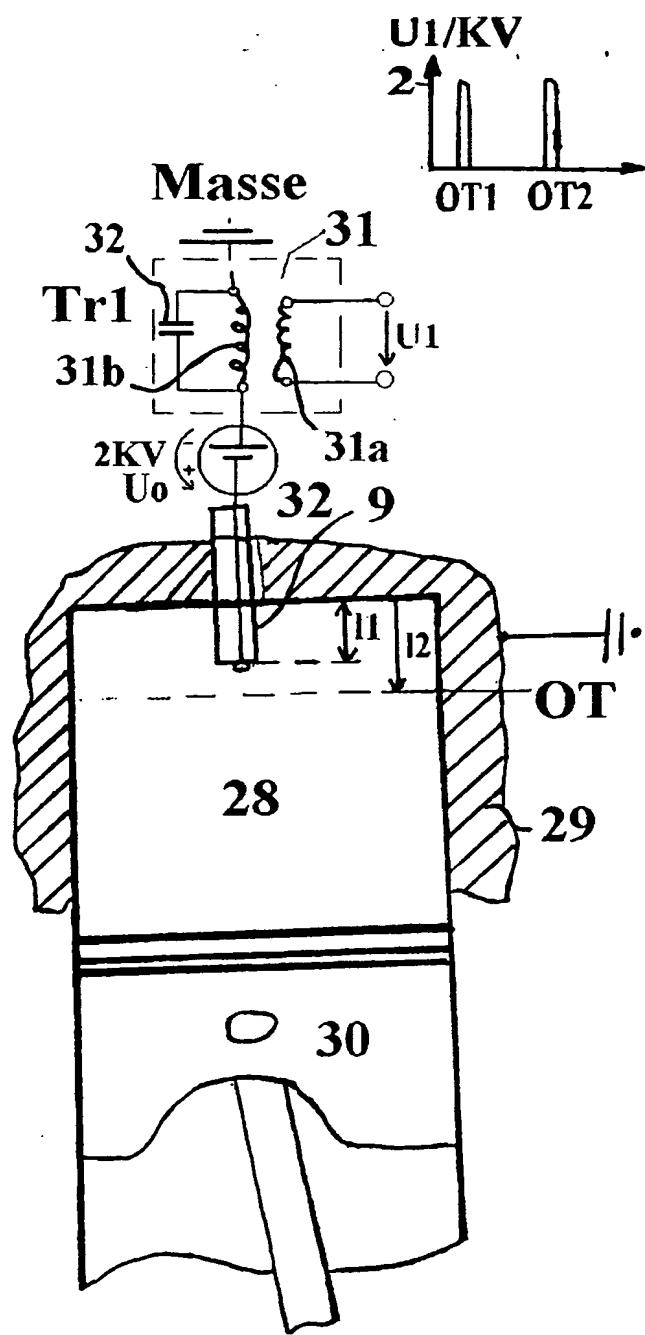


Fig.13

ERSATZBLATT (REGEL 26)

Fig. 14



17/19

FIG. 15

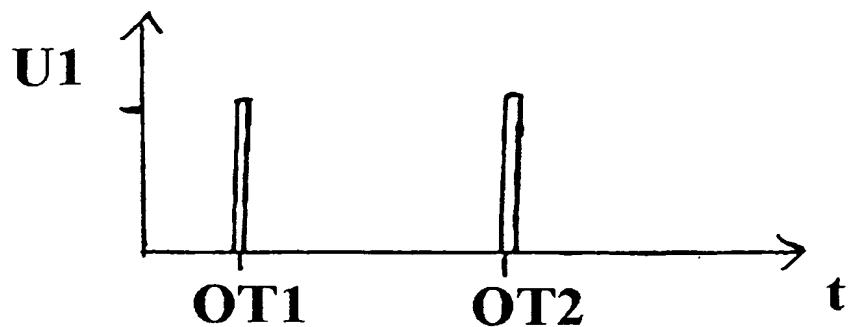


Fig. 15a

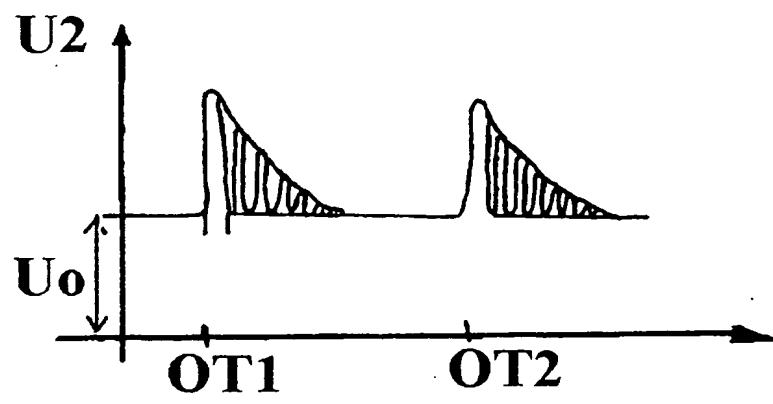
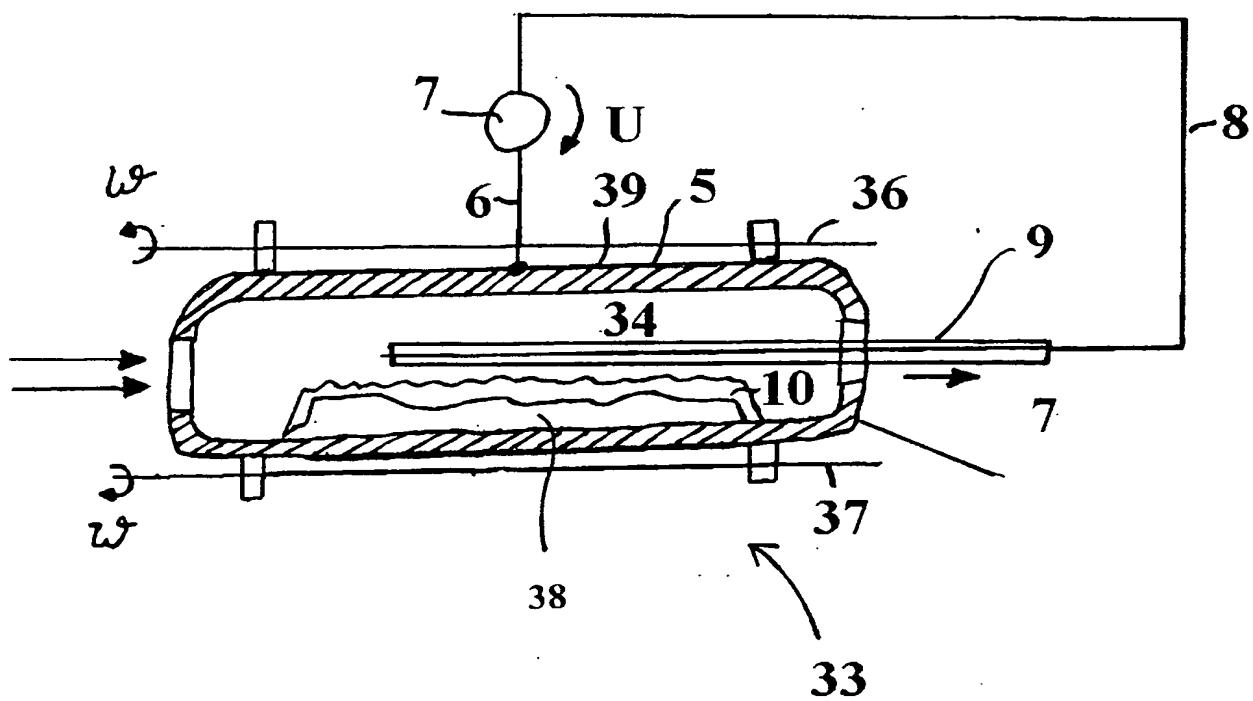


Fig. 15b

18/19

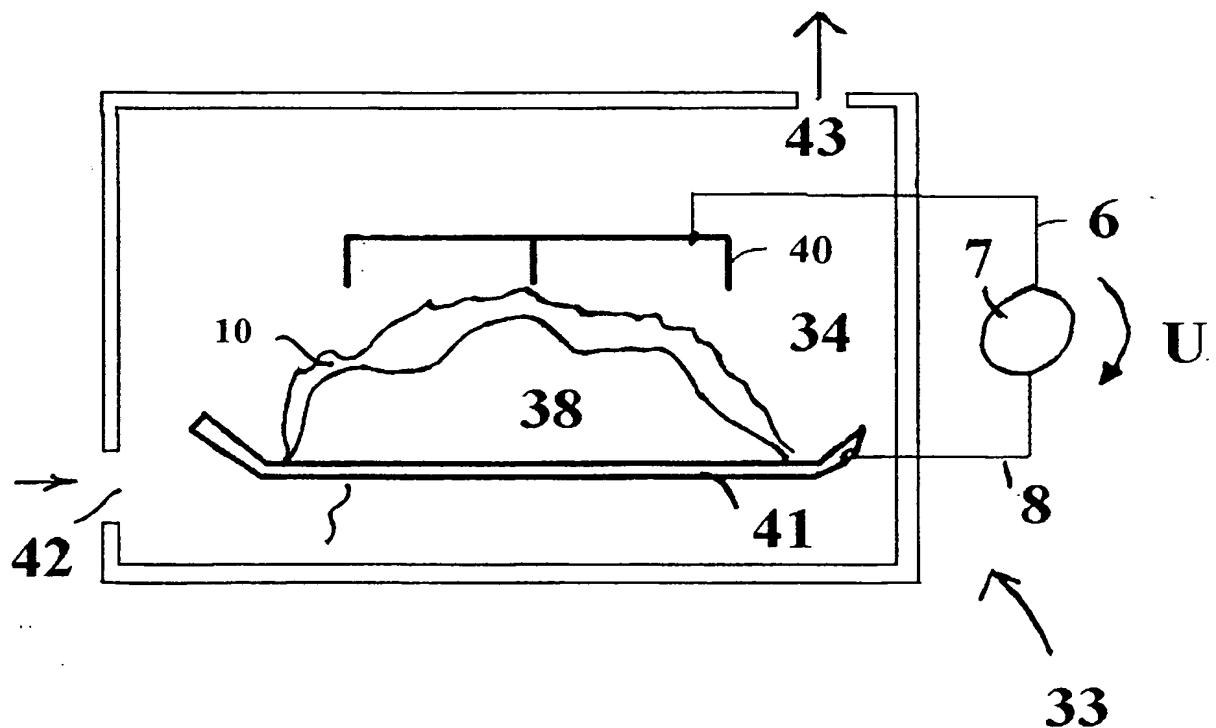
FIG. 16



ERSATZBLATT (REGEL 26)

19/19

FIG. 17



ERSATZBLATT (REGEL 26)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 03/02976

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 F23C11/00 F23G5/00 F02M27/04 F23B7/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 F23C F23G F02M F23B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category <sup>*</sup>	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>WO 96 01394 A (JOHNSEN TORFINN)    18 January 1996 (1996-01-18)</p> <p>the whole document</p> <p>---</p>	<p>1-10,    13-15,    23-26,    28-32,    36,53-55</p>
X	<p>US 2 604 936 A (KAEHNI FRANK J ET AL)    29 July 1952 (1952-07-29)</p> <p>column 1, line 14 -column 2, line 43    column 3, line 49 - line 74    column 5, line 20 - line 42    column 8, line 14 - line 24; figures 1,6</p> <p>---</p> <p>-/-</p>	<p>1-3,6-8,    10-13,    15,19,    23-26,    28,29,    31,35,    36,53-55</p>

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 July 2003

Date of mailing of the international search report

17/07/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Coli, E

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 03/02976

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 12 74 781 B (EXXON RESEARCH ENGINEERING CO) 8 August 1968 (1968-08-08)  the whole document ---	1-5, 8, 9, 11-13, 16, 18, 25, 26, 28-30, 32, 36
X, P	DE 101 37 683 A (SIEMENS AG) 20 February 2003 (2003-02-20)  column 3, line 10 - line 61 column 4, line 9 - line 25; figures 2-5 ---	1-3, 6, 7, 10-15, 17, 19, 23-27, 29, 31, 35, 36, 48, 53, 54
X	GB 1 140 861 A (FELIX JIRI WEINBERG; JAMES LAWTON) 22 January 1969 (1969-01-22) the whole document ---	1, 7, 14, 25
X	US 3 087 472 A (YUKICHI ASAOKAWA) 30 April 1963 (1963-04-30) column 1, line 9 - line 23 column 1, line 59 - column 4, line 9; figures 1, 5, 8 ---	1, 25, 37, 48, 49, 53
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 141 (M-223), 21 June 1983 (1983-06-21) & JP 58 053627 A (HINO JIDOSHA KOGYO KK), 30 March 1983 (1983-03-30) abstract ---	1, 25, 37-40, 46
A	DE 12 54 364 B (ASS SANS BUT LUCRATIF; COCKERILL OUGREE SA; CT NAT DE RECH S METALLURG) 16 November 1967 (1967-11-16) column 7, line 51 - line 55; figure 5 -----	21, 22

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/EP 03/02976

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
WO 9601394	A	18-01-1996	NO	942504 A		02-01-1996
			AU	2938595 A		25-01-1996
			AU	2938695 A		25-01-1996
			WO	9601393 A1,		18-01-1996
			WO	9601394 A1		18-01-1996
US 2604936	A	29-07-1952		NONE		
DE 1274781	B	08-08-1968		NONE		
DE 10137683	A	20-02-2003	DE	10137683 A1		20-02-2003
			WO	03014622 A1		20-02-2003
GB 1140861	A	22-01-1969		NONE		
US 3087472	A	30-04-1963		NONE		
JP 58053627	A	30-03-1983		NONE		
DE 1254364	B	16-11-1967		NONE		

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/02976

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 F23C11/00 F23G5/00 F02M27/04 F23B7/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F23C F23G F02M F23B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 96 01394 A (JOHNSON TORFINN) 18. Januar 1996 (1996-01-18)  das ganze Dokument ---	1-10, 13-15, 23-26, 28-32, 36,53-55



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Aussellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidieren, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&amp; Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Juli 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/07/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Coli, E

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2 604 936 A (KAEHNI FRANK J ET AL) 29. Juli 1952 (1952-07-29)  Spalte 1, Zeile 14 - Spalte 2, Zeile 43 Spalte 3, Zeile 49 - Zeile 74 Spalte 5, Zeile 20 - Zeile 42 Spalte 8, Zeile 14 - Zeile 24; Abbildungen 1,6 ---	1-3,6-8, 10-13, 15,19, 23-26, 28,29, 31,35, 36,53-55
X	DE 12 74 781 B (EXXON RESEARCH ENGINEERING CO) 8. August 1968 (1968-08-08)  das ganze Dokument ---	1-5,8,9, 11-13, 16,18, 25,26, 28-30, 32,36
X,P	DE 101 37 683 A (SIEMENS AG) 20. Februar 2003 (2003-02-20)  Spalte 3, Zeile 10 - Zeile 61 Spalte 4, Zeile 9 - Zeile 25; Abbildungen 2-5 ---	1-3,6,7, 10-15, 17,19, 23-27, 29,31, 35,36, 48,53,54
X	GB 1 140 861 A (FELIX JIRI WEINBERG; JAMES LAWTON) 22. Januar 1969 (1969-01-22) das ganze Dokument ---	1,7,14, 25
X	US 3 087 472 A (YUKICHI ASAOKA) 30. April 1963 (1963-04-30) Spalte 1, Zeile 9 - Zeile 23 Spalte 1, Zeile 59 - Spalte 4, Zeile 9; Abbildungen 1,5,8 ---	1,25,37, 48,49,53
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 141 (M-223), 21. Juni 1983 (1983-06-21) & JP 58 053627 A (HINO JIDOSHA KOGYO KK), 30. März 1983 (1983-03-30) Zusammenfassung ---	1,25, 37-40,46
A	DE 12 54 364 B (ASS SANS BUT LUCRATIF; COCKERILL OUGREE SA; CT NAT DE RECH S METALLURG) 16. November 1967 (1967-11-16) Spalte 7, Zeile 51 - Zeile 55; Abbildung 5 -----	21,22

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/02976

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9601394	A	18-01-1996	NO	942504 A		02-01-1996
			AU	2938595 A		25-01-1996
			AU	2938695 A		25-01-1996
			WO	9601393 A1		18-01-1996
			WO	9601394 A1		18-01-1996
US 2604936	A	29-07-1952	KEINE			
DE 1274781	B	08-08-1968	KEINE			
DE 10137683	A	20-02-2003	DE	10137683 A1		20-02-2003
			WO	03014622 A1		20-02-2003
GB 1140861	A	22-01-1969	KEINE			
US 3087472	A	30-04-1963	KEINE			
JP 58053627	A	30-03-1983	KEINE			
DE 1254364	B	16-11-1967	KEINE			

THIS PAGE BLANK (USPTO)